Zur Prüfung der Eignung von Schleifscheiben und der Schleifbarkeit metallischer Werkstoffe

---

Von der
Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Hanns Moysich VDI
aus Dubeningken

Berichterstatter:
Professor K. Gottwein

Mitberichterstatter:
Professor R. Krauß

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juli 1939

Spezialbetrieb für Dissertationsdruck von Robert Noske in Borna-Leipzig
1939

*46879

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhalt.

Seite

1. Teil.

I. Einleitung 1
II. Versuchsanordnung.
a) Maschine und Geschwindigkeiten 4
b) Messung der Temperatur 5
c) Aufspannung des Dornes 7
d) Gang der Versuche 7
e) Messung der Spanabnahme 9
f) Oberflächengütemessung 9
III. Versuchsergebnisse.
a) Versuchsmaterial und Auswertung der Messungen 10
b) Der Einfluß von Korngröße und Scheibenhärte auf die Schleiftemperatur 11
c) Der Einfluß der Kornqualität 16
d) Einfluß der Scheibenstruktur auf die Schleifwirkung 17

2. Teil.

IV. Allgemeines über die Schleifbarkeit 20
V. Versuchsergebnisse 24
VI. Beziehung zwischen Schleifbarkeit und Drehbarkeit 29
VII. Erzielte Oberflächengüte 30
VIII. Eichungen 30
IX. Zusammenfassung 31
X. Literaturverzeichnis 33

Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem Direktor des Instituts für Werkzeugmaschinen und Herstellungsverfahren an der Technischen Hochschule Breslau, Herrn Prof. K. Gottwein für das allzeit wohlwollende Entgegenkommen und die vielen Anregungen bei der Durchführung der Arbeit meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Ebenso danke ich Herrn Prof. R. Krauß bestens für sein Interesse und die hilfsbereite Unterstützung, die ich jederzeit bei ihm gefunden habe.

Hanns Moysich.

1. Teil.

I. Einleitung.

Das Ziel vorliegender Arbeit ist, ein Verfahren zu entwickeln, das die Bearbeitbarkeit verschiedener metallischer Werkstoffe durch Schleifen und die Geeignetheit verschiedenartiger Schleifscheiben zum Schleifen bestimmter Werkstoffe zu ermitteln gestattet.

Der Begriff und die Prüfung der Bearbeitbarkeit haben sich in neuerer Zeit neben der sonstigen Ermittlung der mechanischen Eigenschaften als ein wichtiger Faktor auf dem Gebiet der Werkstoffbeurteilung durchgesetzt. Unter Bearbeitbarkeit versteht man schlechthin das Verhalten eines Werkstoffes bei seiner Verarbeitung.

Zweck und Notwendigkeit der Bearbeitbarkeitsprüfung liegen auf der Hand. Für einen neuen Werkstoff ist die Kenntnis der Bearbeitbarkeit zur Vorausbestimmung der Fertigungszeiten unerläßlich. Die Bearbeitbarkeitsprüfung läßt den Einfluß von Wärmebehandlung, Analysenänderungen usw. erkennen und ermöglicht die Angabe der günstigsten Arbeitsgeschwindigkeit, wodurch sie unmittelbaren Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebes hat.

Das von K. Gottwein entwickelte Einstahlverfahren[1]) und das Zweistahlverfahren[2]) von K. Gottwein und W. Reichel ermöglichen eine eindeutige Feststellung der Bearbeitbarkeit metallischer Werkstoffe in einem einfachen Kurzversuch[3]) zunächst bei dem Vorgang des Drehens. Weitere Versuche von F. Schicha im Laboratorium für Werkzeugmaschinen an der Technischen Hochschule Breslau erbrachten den Beweis der Anwendbarkeit des Zweistahlverfahrens auch auf die Arbeitsvorgänge beim Fräsen und Bohren[4]).

Als Bearbeitbarkeitskennziffer nehmen Gottwein und Reichel die auftretende Zerspanungstemperatur an. „Jeder Werkstoff ent-

[1]) Gottwein, Mabau, 1925, S. 1129; 1926, S. 505.
[2]) Reichel, Mabau, 1936, S. 187.
[3]) Vgl. z. B. Werkstoffprüfgerät „Thermoduo" der Fa. Otto Wolpert, Ludwigshafen.
[4]) Schicha, Diss., TH. Breslau, 1939.

wickelt beim Zerspanen eine durch die gegebenen Verhältnisse vorgeschriebene Wärmemenge, die sich je nach den Wärmeableitungsverhältnissen in eine mehr oder weniger große Schneidentemperatur umsetzt. Die an der Werkzeugschneide beim Zerspanen auftretende Schneidentemperatur darf nun offenbar als eine geeignete Kennziffer für die Bearbeitungsfähigkeit eines Werkstoffes angesehen werden." [5])

K. Gottwein und W. Reichel gaben die Anregung, Bearbeitbarkeitsprüfungen auch bei einem der wichtigsten Bearbeitungsverfahren der modernen Fertigung, dem Schleifen metallischer Werkstoffe auf Grund der an der Eingriffsstelle auftretenden Temperatur anzustellen. Die bisherigen Erkenntnisse auf dem Gebiet des Schleifens sind, obwohl es zu den ältesten Bearbeitungsverfahren gehört, noch recht lückenhaft, was seine Erklärung in der starken Undurchsichtigkeit des Schleifvorganges findet, da zu viele und zu verschiedenartige Faktoren ihren Einfluß ausüben.

Auch bei diesem Zerspanungsvorgang kann die auftretende Arbeitstemperatur als ein Maßstab für die Bearbeitbarkeit gewählt werden.

> Je niedriger die Schleiftemperatur bei gleicher Werkstoffabnahme, um so leichter bearbeitbar ist das Material.

In der Praxis wird ein möglichst kühler Schliff angestrebt, um die Bildung von Schleifrissen und Gefügeänderungen der geschliffenen Oberfläche, die sog. Weichhaut, zu verhindern, und häufig findet man in den Prospekten der Schleifmittelwerke als besonderen Vorzug ihrer Erzeugnisse die Angabe, daß ihre Scheiben bei hoher Schleifleistung eine besonders geringe Erwärmung hervorrufen.

Es sind zwar m. W. bisher keine exakten Versuche in dieser Richtung gemacht worden, aber schon diese Angaben der Schleifscheibenindustrie beweisen, daß die Praxis in der auftretenden Schleiftemperatur einen gewissen Gütemaßstab für die Scheiben sieht. Die Arbeitstemperatur läßt also auch einen Schluß auf die Geeignetheit von Schleifscheiben zu.

Die Beurteilung und Auswahl von Schleifscheiben erfolgt bis heute nach mehr oder weniger subjektiven Prüfverfahren und empirischen Faustformeln, die einen alsoluten Vergleich verschiedener Scheiben und ihre Geeignetheit zur Bearbeitung verschiedener Werkstoffe nicht möglich machen. Eine Zusammenstellung der gebräuchlichsten Werkstattregeln gibt P. Sahm [6]).

---

[5]) Reichel, Mabau, 1936, S. 187.
[6]) P. Sahm, Werkstattstechn., 1928, H. 10.

Das üblichste Verfahren zur Prüfung und Beurteilung von Schleifscheiben ist die Bestimmung ihrer Härte. Abgesehen davon, daß die Härte einer Scheibe von verschiedenen Faktoren wie Zusammenstellung der Bindungsstoffe, Verhältnis von Bindungsmenge zu Schleifmittelmenge, Korngröße, Brenntemperatur u. a. abhängig ist, somit bestenfalls als eine Kontrolle für gleichbleibende Qualität bei der einzelnen Scheiben herstellenden Firma dienen kann, so sagt sie noch nichts darüber aus, wie sich die Scheibe während des Betriebes und bei der Bearbeitung bestimmter Materialien verhält.

Verfahren zur Prüfung der Härte von Scheiben gibt es in großer Anzahl [7]).

Die Auswahl der Scheiben nach ihrer Härte muß schon deshalb zu Fehlergebnissen führen, weil die Härte eine Eigenschaft der ruhenden Scheibe ist und einen Schluß auf das Verhalten beim Arbeitsvorgang selbst nicht zuläßt. Tatsächlich hängt es auch von der Umfangsgeschwindigkeit ab, ob eine Scheibe härter oder weicher „wirkt". Je höher die Umfangsgeschwindigkeit, um so härter wirkt die Scheibe. Die Leistung einer Scheibe ist dann am größten, wenn Material, Durchmesser und Umfangsgeschwindigkeit des Werkstückes und Härte der Schleifscheibe im richtigen Verhältnis stehen, so daß die Scheibe weder übermäßigen Verschleiß hat noch blank und stumpf wird [8]).

Die Auswahl der Scheiben muß also nach Gesichtspunkten erfolgen, die ihr Verhalten während des werkstattmäßigen Schleifens selbst berücksichtigen. Eine Klassifizierung der Scheiben durch Messung des beim Schleifen auftretenden Tangentialdruckes [9]) scheint sich wegen zu großer Umständlichkeit nicht durchzusetzen. Durch Versuche wurde nachgewiesen, daß bei sonst gleichen Schleifbedingungen der Tangentialdruck mit zunehmender Scheibenhärte wächst.

Die auftretende Schleiftemperatur ist ein guter Maßstab für die Geeignetheit verschiedener Schleifscheiben.

> Je größer — bei demselben Material — die abgenommene Spanmenge ist und je niedriger die dabei auftretende Temperatur bleibt, um so geeigneter ist die Scheibe.

Dabei ist zunächst vorausgesetzt, daß der Verschleiß der Scheibe sich in normalen Grenzen hält und die Oberfläche des Werkstückes den gestellten Anforderungen entspricht.

---

[7]) Kleinschmidt, Schleif- u. Poliertechn., Bd. I, 1936.
[8]) Pockrandt, Mitt. üb. Forsch.-Arb., VDI, H. 105.
[9]) Kurrein, Werkstattstechn., 1928, H. 10.

Nähere Erörterungen über Aufbau und Zusammensetzung der Scheiben[10]) sowie über verschiedene Vorgänge beim Schleifen erübrigen sich, da diese Fragen in der einschlägigen Literatur[11]) bereits behandelt sind.

Bei dieser Arbeit handelt es sich weniger um die Schaffung zahlenmäßiger Unterlagen, als vielmehr um die Durchführung von Versuchen, die zeigen sollen, daß auch die an der Eingriffsstelle der Schleifscheibe auftretende Temperatur eine Grundlage für die Beurteilung der Eignung von Scheiben bzw. für die mehr oder weniger gute Schleifbarkeit bestimmter Werkstoffe abgibt. Prof. Pahlitzsch sagt in einem Aufsatz „Aufgabe der Forschung muß es sein, dieses schwierige Problem der Schleifscheibenprüfung durch zielbewußte Kleinarbeit allmählich einer wenn auch vielleicht nur teilweisen Lösung näherzubringen; denn eine allgemeine Lösung der Aufgabe scheint bei dem Zusammentreffen der vielen sich zum Teil auch gegenseitig beeinflussenden Faktoren, die eine Schleifscheibe charakterisieren, fast unmöglich.“[12])

II. Versuchsanordnung.

a) Maschine und Geschwindigkeiten.

Die Versuche wurden auf einer Naxos-Universal-Schleifmaschine, Abb. 1, ausgeführt.

Die Maschine erhält ihren Antrieb von einem Deckenvorgelege. Ihr Kraftverbrauch beträgt insgesamt etwa 4 PS.

Um die Zahl der Versuche nicht ins Ungemessene zu steigern, wurden die Versuche mit 33 m/sec. Schnittgeschwindigkeit (Leerlauf) durchgeführt. Es erübrigt sich, mit niedrigeren Schnittgeschwindigkeiten zu arbeiten, da durch zahlreiche Versuche[13]) sowie die Erfahrungen der Praxis hinreichend erwiesen ist, daß bei hohen Schnittgeschwindigkeiten die Abnutzung der Scheibe geringer wird und die Wirtschaftlichkeit im allgemeinen steigt.

Die Werkstückgeschwindigkeit betrug 12 m/min.

---

[10]) Guilleaume, Diss., TH. Berlin, 1927.

[11]) Vgl. besonders Kleinschmidt, Schleif- u. Poliertechnik, 1936.

[12]) Pahlitzsch, Anz. f. Maschinenwes., 1938, Nr. 103.

[13]) Schlesinger, Mitt. üb. Forsch.-Arb., VDI; Pockrandt, Mitt. üb. Forsch-Arb., VDI, H. 105; Krug, Z. d. VDI, 1927; Bornemann, Diss., TH. Dresden, 1931.

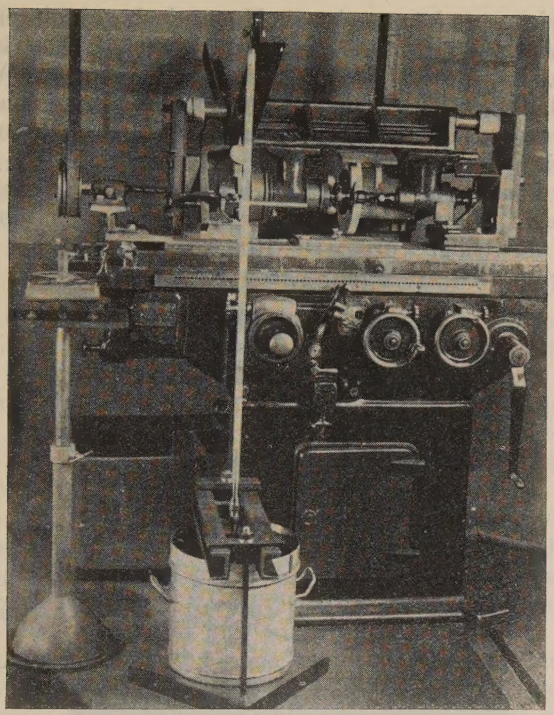


Abb. 1.

b) Messung der Temperatur.

Zur Temperaturmessung wurde ein Thermoelement verwendet. Während die Messung der Temperatur beim Drehen, Bohren und Fräsen relativ einfach ist[14]), macht dies wegen des nichtleitenden Werkzeuges beim Schleifen Schwierigkeiten. Eine Feststellung der tatsächlichen Schneidentemperatur, wie bei den übrigen Zerspanungswerkzeugen, dürfte bei der Schleifscheibe nie möglich sein, da ja Form und Schnittiefe jeder der unzähligen kleinen Schneiden verschieden und veränderlich ist. Es ist also nur eine praktische Durchschnittstemperatur meßbar, die sich unter dem Einfluß aller im Eingriff stehenden Schleifkörner einstellt.

Um aber verschiedene Scheiben und die Schleifbarkeit verschiedener Materialien an Hand der auftretenden Arbeitstempe-

[14]) Reichel, Mabau, 1936, S. 187.

ratur vergleichen zu können, ist die Kenntnis der absoluten Schneidentemperatur auch nicht erforderlich. Es genügt eine Vergleichstemperatur. Zu fordern ist lediglich, daß wegen der Wärmeableitungsverhältnisse die Temperatur immer an der gleichen Stelle abgenommen wird, und daß immer unter gleichen Bedingungen geschliffen wird.

Dieser Forderung wurde dadurch Rechnung getragen, daß das zu schleifende Material in Form von Ringen mit den Maßen $40 \times 18 \times 27$ verwendet wurde. Die Ringe wurden auf den in Abb. 2 und 3 dargestellten kräftigen Bolzen aufgesetzt.

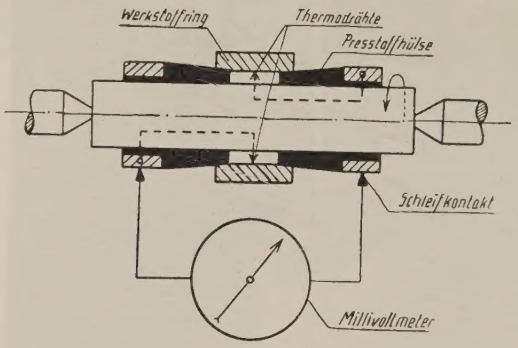


Abb. 2.

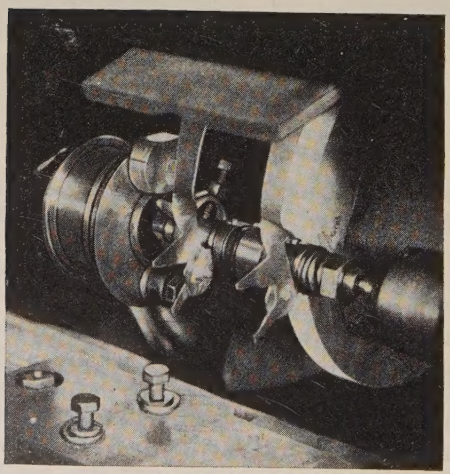


Abb. 3.

In Isolierstücken eingesetzte Federn drücken die Drähte des Thermoelementes, Eisen-Konstantan, gegen die Bohrung des Rin-

ges. Die Berührungsstellen der Drähte sind um 180° gegeneinander versetzt. Durch die starke Spiralfeder am Ende des Bolzens, die das konische Ende der Isolierstücke fest in die Ringbohrung drückt, wird ein sattes Anliegen der Thermodrähte auch bei einem Wachsen des Ringes garantiert. Die Ringe wurden um maximal 2 mm im Durchmesser abgeschliffen, so daß die Volumenabnahme, wie die Versuche zeigten, keinen nennenswerten Einfluß auf die Temperatur hatte.

c) Aufspannung des Dornes.

Zunächst wurde der Dorn wie bei normalem Rundschliff zwischen Spitzen genommen und mit maschineller Anstellung gearbeitet. Es stellte sich aber heraus, daß durch das Wachsen des Ringes seine Durchmesserabnahme nicht der Scheibenzustellung entsprach, sondern größer wurde, wodurch die Temperatur sehr hoch anstieg. Es mußte also ein Weg gefunden werden, um den Einfluß des Wachsens des Ringes auszuschalten. Das wurde dadurch erreicht, daß mit konstantem Anpreßdruck gearbeitet wurde. Zu diesem Zweck wurde die gesamte Aufspannvorrichtung, wie Abb. 4 zeigt, auf eine Wippe aufgeschraubt, die zwischen Spitzen aufgehängt wurde. Der Werkstückantrieb erfolgte über eine Gelenkwelle (vgl. auch Abb. 1).

Die durch diese Aufhängung bedingten nunmehr auftretenden Schwingungen mußten durch einen hydraulischen Stoßdämpfer aufgenommen werden, um einen einwandfreien Schliff zu erhalten. Als trotzdem noch starke Streuungen in den Ergebnissen auftraten, mußten die Spitzen, in denen die Wippe aufgehängt war, durch Kugellager ersetzt werden, da die Spitzenreibung durch Temperatureinflüsse und den wechselnden und unkontrollierbaren Schmierzustand der Spitzen schwankte. Ebenso wurde das Öl im Stoßdämpfer gegen Petroleum ausgetauscht, da sich die durch Temperaturschwankungen bedingte Viskositätsänderung des Öles nachteilig bemerkbar machte und ein Konstanthalten der Öltemperatur schwierig war. Nach Beseitigung dieser Schwierigkeiten hat die Versuchsvorrichtung befriedigend gearbeitet. Der konstante Anpreßdruck wurde durch Gewichtszug erreicht.

d) Gang der Versuche.

Mit jeder Scheibe wurden unter verschiedenen Anpreßdrücken mehrere Versuche gefahren. Die Dauer jedes Einzelversuches betrug 10 sek, danach wurden Abnahme und Temperatur ermittelt.

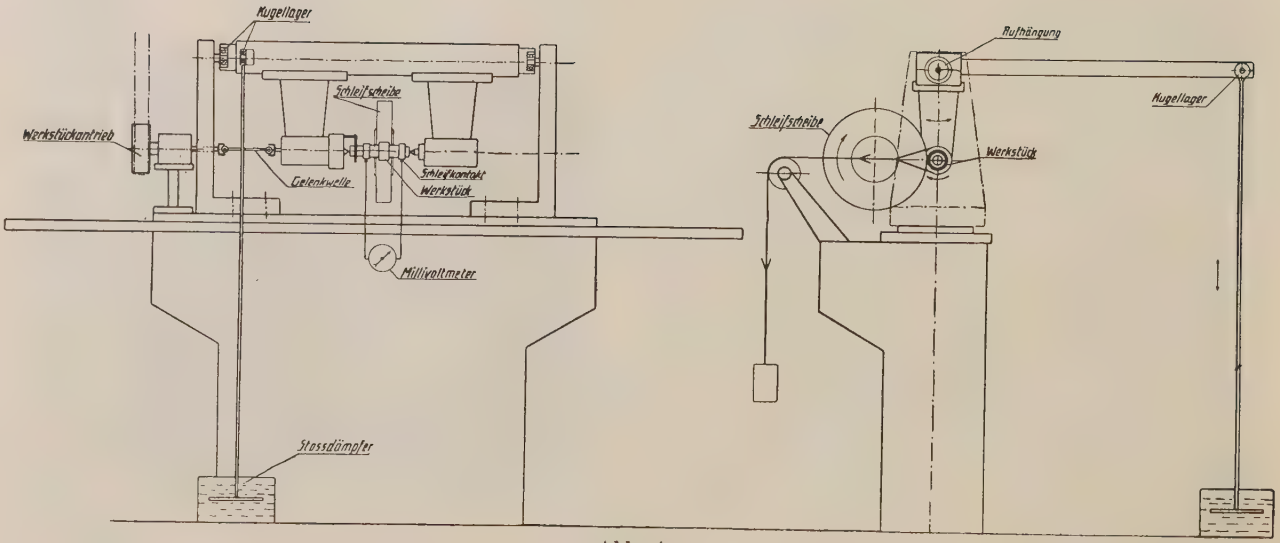

Kugellager
Schleifscheibe
Werkstückantrieb
Gelenkwelle
Schleifkontakt
Werkstück
Millivoltmeter
Stossdämpfer
Aufhängung
Schleifscheibe
Werkstück
Kugellager

Abb. 4.

Da sich der Zustand der Scheibe dauernd ändert — und um Meß- und Ablesefehler auszuschalten — wurden mit jedem Anpreßdruck 6 bis 8 Versuche gemacht und der Mittelwert gebildet. Vor jeder neuen Versuchsreihe wurde die Scheibe mit gleichbleibendem Vorschub und Anstellung abgezogen.

e) Messung der Spanabnahme.

Die Messung der Durchmesserabnahme des Ringes erfolgte mit einer Mikrometerschraube (Schraublehre), die eine Ablesegenauigkeit bis zu 0,005 mm schätzungsweise gestattet. Da aus mehreren Versuchen der Mittelwert gebildet wurde, kann die Genauigkeit als genügend angesehen werden.

f) Oberflächengütemessung.

Die erzeugte Oberflächengüte wurde mit dem von Schmaltz entwickelten und der Firma Carl Zeiss, Jena, auf den Markt gebrachten Oberflächenprüfgerät festgelegt.

Eine Normung der Oberflächengüte und ihre Prüfung gibt es bis heute noch nicht. Jedoch ist das Gerät von Schmaltz für Forschungszwecke häufig verwendet und auch die Beobachtungen in vorliegender Arbeit sind damit ausgeführt[15]).

Es gibt eine Anzahl von Oberflächenprüfgeräten. Erwähnt seien drei: Der Vibrationsmesser nach Flemming[16]), ein Gerät, das mit einer Saphirkugel, deren kleinster Krümmungsradius 0,005 mm beträgt, die zu prüfende Oberfläche abtastet und die Ausschläge automatisch summiert, wodurch sich bei einer bestimmten Abtastlänge eine Oberflächenkennzahl ergibt; der optische Oberflächenprüfer von Busch, bei dem die untersuchte Oberfläche mit einer Musterfläche gleichzeitig im Okular erscheint, so daß ein subjektiver Vergleich möglich ist; und das Verfahren von Perthen[17]), hier wird eine mit einem besonderen Dielektrikum versehene Elektrode auf die zu prüfende Oberfläche gelegt, und die Kapazität des so gebildeten Kondensators gemessen. Verschiedene Rauhigkeit der Oberfläche bewirkt eine Kapazitätsänderung. Der Vorteil dieses Gerätes liegt darin, daß die mittlere Höhe der Oberflächen-Unebenheiten direkt an einem geeichten Instrument abgelesen werden kann, man also sofort eine Oberflächenkennzahl er-

[15]) Sachsenberg, Mabau, 1938, H. 5/6.
[16]) Flemming, Diss., TH. Dresden, 1934.
[17]) Perthen, Mabau, 1936, S. 669.

hält, während die Auswertung der mit dem Schmaltzschen Gerät gemachten Aufnahmen eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Am genauesten können Form, Tiefe und Häufigkeit von Bearbeitungsmarken mit einem mechanischen Schnitt durch die Oberfläche gemessen werden. Nachteilig hierbei ist, daß die Oberfläche zerstört werden muß und u. U. bei dem Schnitt Verformungen der Oberfläche auftreten. Bei dem Prüfverfahren nach Schmaltz[18]) ist dieser Nachteil vermieden, indem ein optischer Schnitt durch die Oberfläche gelegt wird.

Von einem Beleuchtungstubus wird ein schmales Lichtband unter 45° auf die zu prüfende Oberfläche geworfen.

Die Berührungslinie zwischen Lichtband und Oberfläche wird mit einem Mikroskop, das mit einem Meßokular ausgerüstet ist, senkrecht zur Beleuchtungsrichtung betrachtet.

Die Meßmarke des Okulars ist verschiebbar und wird einmal an die oberen Spitzen und einmal an die unteren Spitzen der Unebenheiten des Oberflächenbildes angelegt. An einer Feinmeßschraube, mit der die Verschiebung der Meßmarke bewerkstelligt wird, kann die Höhe der Unebenheiten (H) direkt in μ abgelesen werden. Aus mehreren Messungen wird dann die mittlere Höhe des Oberflächengebirges errechnet. Die Häufigkeit der Bearbeitungsmarken kann gemessen werden, indem Okular einschließlich Meßeinrichtung um 90° geschwenkt werden.

Die geringe Verzerrung, die durch den schrägen Schnitt zustande kommt, kann in Kauf genommen werden.

Die Oberflächenmessungen und Mikrofotogramme in vorliegender Arbeit wurden mit 240facher Vergrößerung und einem Sehfeld von 0,9 mm ausgeführt.

III. Versuchsergebnisse.

a) Versuchsmaterial und Auswertung der Messungen.

Es wurden Scheiben von drei Schleifmittelwerken, die im folgenden mit I, II, III bezeichnet sind, benutzt. In Körnung und Härte entsprechen sich die Scheiben annähernd. Die Körnung der Scheiben war „grob, mittel, fein", der Härtegrad „weich, mittel, hart". Versuche, mit sehr groben Scheiben — Schruppscheiben Körnung 14/16 — zu arbeiten, ergaben nur in zwei Fällen auswertbare Resultate, da die Scheiben in ihrem Gefügeaufbau so ungleichmäßig

[18]) Schmaltz, Techn. Oberflächenkunde, 1936.

waren, daß ein Auswuchten und somit ein einwandfreier Schliff nicht zu erzielen war. Die beiden Scheiben, mit denen gearbeitet werden konnte, wurden aber schnell unrund, fingen infolgedessen an, unruhig zu arbeiten und erzeugten eine wellenförmige Oberfläche, so daß die Versuchsergebnisse nicht als einwandfrei angesehen werden können. Der Vollständigkeit halber sind die Ergebnisse in den folgenden Diagrammen dennoch wiedergegeben.

Es wurde zunächst die Geeignetheit der verschiedenen Schleifscheiben an Kohlenstoffstahl St 70.11 wassergehärtet geprüft. Mit sämtlichen Versuchsscheiben wurden unter gleichen Bedingungen und Anpreßdrücken von 1 bis 4 kg Versuche durchgeführt. Als Einheit für die Schleifdauer wurde die Zeit von 10 sek angenommen. Durchmesserabnahme des Ringes in 1/100 mm und Temperatur in Millivolt sind in den folgenden Diagrammen in Abhängigkeit vom Anpreßdruck aufgetragen. Bei den ersten Diagrammen sind die abgelesenen Versuchswerte, deren Auswertung die Kurven sind, in Tabellenform wiedergegeben.

b) Der Einfluß von Korngröße und Scheibenhärte auf die Schleiftemperatur.

Heute nimmt man weitgehend an, daß die Wirtschaftlichkeit beim Schleifen sich ausdrücken läßt durch das Verhältnis Schleifmittelverbrauch zu abgehobener Spanmenge, sog. spezifische Leistung. Das verführt weiter zu dem Schluß, daß man möglichst harte Scheiben verwenden soll, da diese infolge geringerer Abnutzung eine längere Lebensdauer haben als weiche Scheiben.

Nun setzen aber zu harte Scheiben die Wirtschaftlichkeit u. a. durch Verlängerung der Schleifzeit und somit Steigerung der Lohnkosten herab. Bei gleichem Anpreßdruck nimmt die weichere Scheibe, wie die Versuche zeigen, eine größere Spanmenge ab als die harte Scheibe derselben Körnung, ohne daß die Temperatur entsprechend zunimmt. Diese im Verhältnis zur abgenommenen Spanmenge höhere Arbeitstemperatur der härteren Scheiben findet ihre Erklärung in dem Umstand, daß die abgestumpften Körner zu lange von der Bindung festgehalten werden. Die Scheibe schneidet nicht mehr scharf, sondern das Material wird abgewürgt. Mit zunehmender Abstumpfung wird die Wirkung der Scheibe mehr eine quetschende und reibende, was ein starkes Ansteigen der Arbeitstemperatur zur Folge hat. Wird mit mechanischem Vorschub gearbeitet, so muß der Anpreßdruck zwischen Arbeitsstück und Schleifscheibe naturgemäß immer größer werden, damit das

durch die Anstellung bedingte Volumen abgenommen wird, bis schließlich doch der Widerstand des Bindungsmaterials überwunden ist, die alten Körner herausbrechen und neue zum Schnitt kommen. Dieser größere Anpreßdruck führt wieder zu entsprechend höheren Lagerdrücken und einem größeren Leistungsverbrauch[19]). Da die harten Scheiben außerdem zum Unrundwerden neigen — eine weiche Scheibe egalisiert sich leichter — und dann keinen einwandfreien Schliff mehr liefern, müssen sie öfter abgerichtet werden, was, abgesehen von dem dafür erforderlichen Zeitaufwand, zu einem größeren Schleifmittelverbrauch führt, als dies bei dem natürlichen Verschleiß der weicheren Scheiben der Fall ist, so daß die Behauptung, die Wirtschaftlichkeit der härteren Scheiben sei größer, wohl nicht für alle Fälle als zutreffend angesehen werden kann. Eine weiche Scheibe, die eine gewisse Lebensdauer hat und stündlich ein bestimmtes Spanvolumen abnimmt, dürfte für den Betrieb des Schleifens wesentlich wirtschaftlicher sein als eine harte Scheibe mit der doppelten Lebensdauer, die aber pro Stunde nur halb so viel abnimmt.

Obwohl bei den vorliegenden Versuchen keineswegs extreme Härtegrade verglichen wurden, sondern mit durchaus normalen, im täglichen Werkstattbetrieb benutzten Scheiben gearbeitet wurde, zeigen sich doch, wie aus den Diagrammen ersichtlich, in Arbeitstemperatur und Spanabnahme der verschiedenen Scheiben beträchtliche Unterschiede.

So nimmt z. B. die Scheibe I 100/120 G in derselben Zeit und bei gleichem Anpreßdruck von 3 kg ca. 21% mehr ab als die Scheibe I 100/120 M und sogar ca. 35% mehr als die Scheibe I 100/120 S, ohne daß die Arbeitstemperatur nennenswert ansteigt (Fig. 1—3). In der von den drei Scheiben erzeugten Oberflächengüte sind Unterschiede nicht festzustellen.

Bei den niedrigen Anpreßdrücken sind die Unterschiede naturgemäß kleiner, weil die Abstumpfung der Scheiben nicht so stark ist, somit also auch die harte Scheibe länger scharf schneidet, während die weiche Scheibe in derselben Zeit nicht so viel abgestumpfte Körner abstoßen muß, so daß ihr Vorteil, häufig neue scharfe Schneiden zum Schnitt zu bringen, nicht so stark in Erscheinung tritt. Erst bei längerer Schleifdauer würden sich auch hier die Härteunterschiede mehr bemerkbar machen.

Ein Unterschied in der Abnutzung der Scheiben, die ja an sich bei so kurzen Schleifzeiten sehr gering ist und infolge Fehlens

[19]) Pockrandt, Mitt. üb. Forsch.-Arb., VDI, H. 105.

geeigneter Meßwerkzeuge nur subjektiv beurteilt werden konnte, war bei den drei Scheiben nicht feststellbar.

Bei den gröberen Körnungen ist die Gesamtspanabnahme bei gleichem Anpreßdruck geringer als bei den feinkörnigen Scheiben (vgl. Fig. 1—3 und 4—6). Je größer der aus der Bindung herausragende Teil des Schleifkornes ist, um so größer kann auch die Spantiefe sein. Ein gewisser Mindestdruck ist aber erforderlich, damit die Schleifkörner in den Werkstoff eindringen und eine Materialabnahme in Spanform herbeiführen. Ist dieser Druck zu niedrig, so hat das Schleifkorn mehr eine reibende als schneidende Wirkung, und trotz geringerer Abnahme wird die Temperatur verhältnismäßig hoch. Auch die Unterschiede der Bindungshärten wirken sich bei den groben Körnungen nicht in dem Maße aus wie bei den feineren Körnungen. Das Bindungsmittel hat bei dem gröberen Korn mehr Angriffsflächen, das Korn ist also besser gefaßt, so daß auch die weichere Bindung das grobe Korn länger halten kann. Grobe Scheiben benötigen deshalb auch einen geringeren Prozentsatz an Bindemittelmenge als feinkörnige Scheiben gleicher Härte. Nach Angabe der Herstellerfirmen enthalten grobe Scheiben etwa 10—20%, mittlere 12—22% und feingekörnte 15 bis 25% Bindemittelmenge. Innerhalb der angegebenen Grenzen haben die weicheren Scheiben die geringeren, die harten Scheiben die größeren Bindemittelmengen. Der Einfluß der Bindungshärte wird sich weiter bei groben Scheiben erst bei höheren Anpreßdrücken bzw. längerer Schleifdauer auswirken. Trotzdem ist eine verschiedene Eignung der einzelnen Scheiben aus den Diagrammen deutlich erkennbar.

Ein Vergleich der Fig. 1—6 zeigt die Überlegenheit der feinkörnigen gegenüber der gröberen Scheibe, immer gleichen Anpreßdruck, gleiches Material und gleiche Umfangsgeschwindigkeit vorausgesetzt. So zeigen Fig. 1 und Fig. 4 die Charakteristik zweier Scheiben gleicher Härte, aber verschiedener Körnung. Bei gleicher Spanabnahme, z. B. 12/100 mm, erzeugt die feinkörnige Scheibe (Fig. 1) eine um 25% niedrigere Arbeitstemperatur als die grobe Scheibe; oder vom Anpreßdruck ausgehend ergibt sich bei 3 kg eine Temperaturdifferenz von ca. 10%, dagegen ein Unterschied von mehr als 35% in der Spanabnahme. Ähnlich liegen die Differenzen unter gleichen Schleifbedingungen auch bei den beiden anderen erprobten Härtegraden. Bedingt wird diese kühlere Schleifwirkung der feinkörnigen Scheiben durch den geringeren Schleifdruck, der angewendet werden muß, um die einzelnen Körner zum Eingriff zu bringen. Auch wirken sich ungünstige Schneiden-

formen der einzelnen Körner bei groben Scheiben stärker aus. Mit einer groben Scheibe läßt sich zweifellos in der Zeiteinheit ein größeres Spanvolumen abnehmen, als mit der feinkörnigen Scheibe, wenn der Anpreßdruck entsprechend hoch gewählt wird. Höherer Anpreßdruck bedingt aber höhere Temperatur, so daß bei empfindlichen Werkstücken im Interesse der kühleren Schleifwirkung die feinere Körnung vorzuziehen ist.

Bei den sehr groben Scheiben (Fig. 7, 8) scheinen sich die Unterschiede in den Bindungshärten wieder kräftiger auszuwirken. So erzeugt die harte Scheibe im Verhältnis zur abgenommenen Spanmenge eine besonders hohe Temperatur, ist also für den vorliegenden Bearbeitungsfall als unbrauchbar anzusprechen.

Da aus den obengenannten Gründen die Versuchswerte starke Streuungen aufwiesen und der Schliff unbefriedigend ausfiel, außerdem derartig grobe Scheiben wohl ausschließlich zum Putzen von Gußstücken, Stahlknüppeln und Abgraten von Schmiedestücken an Pendel- bzw. Ständerschleifmaschinen verwandt werden, seien sie aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Bei den von II gelieferten Scheiben (Fig. 9—15), die nach einer Zusammenstellung von Kleinschmidt[20]) ausgewählt sind und nach dieser Tabelle den Scheiben von I in Körnung und Härte entsprechen sollen, zeigt sich dieselbe Tendenz. Die Arbeitstemperatur bei gleicher Spanabnahme sinkt, je feiner die Körnung und je weicher die Bindung ist. Die Scheiben ergeben im allgemeinen eine etwas niedrigere Arbeitstemperatur als die entsprechenden Scheiben von I, scheinen also für das Rundschleifen gehärteter Materialien besser geeignet zu sein.

Durch sehr große Spanabnahme bei besonders niedriger Temperatur fällt die Scheibe II 100/120 G (Fig. 9) auf — entspricht der Scheibe I 100/120 G (Fig. 1). Bei gleichem Anpreßdruck ist die Abnahme doppelt so groß wie bei der harten Scheibe gleicher Körnung (Fig. 11); oder bei gleicher Abnahme bleibt die Temperatur um mehr als die Hälfte niedriger. Diese Scheibe wäre also an sich als die brauchbarste anzusehen. Es muß aber weiter die Voraussetzung gemacht werden, daß die erzielte Oberflächengüte den Anforderungen entspricht und die Abnutzung der Scheibe in praktisch tragbaren Grenzen bleibt, d. h. daß die Abnutzung, abgesehen von dem Scheibenverbrauch, nicht ein Maß überschreitet, das die geforderte Arbeitsgenauigkeit in Frage stellt. Beide Voraussetzungen erfüllt die Scheibe II 100/120 G nicht. Die erzeugte Oberfläche wird

[20]) Kleinschmidt, Schleif- u. Poliertechn., Bd. I.

nicht so, wie man es von einer Scheibe mit verhältnismäßig so feiner Körnung verlangen muß (Abb. 5).

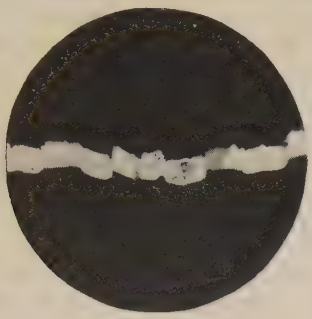


Abb. 5.
H = 15—20 μ.

Die Körner brechen schon während des Schnittes, ehe die größte Spanabnahme erreicht ist, aus und werden, ohne daß sie von der Bindung gehalten werden, zwischen Scheibe und Werkstück durchgequetscht. Sie haben also die Möglichkeit, sich zu drehen und seitlich zu wandern, so daß die erzeugte Oberfläche rauh und ungleichmäßig wird. Durch das zu frühe Ausbrechen der Körner ist der Verschleiß der Scheibe außerordentlich stark. Abb. 6 zeigt das Profil der Scheibe nach einer Schleifdauer von 10 sek mit 3 kg Anpreßdruck. Die Durchmesser-Abnahme beträgt 1,7 mm.

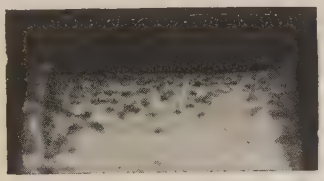


Abb. 6.

Ebenso ist der Unterschied zwischen dieser und der listenmäßig annähernd gleichen Scheibe von I beträchtlich. Bei gleichem Anpreßdruck von beispielsweise 2,5 kg ist eine Differenz von 50% in der Abnahme zu konstatieren, während die Arbeitstemperatur bei der Scheibe von I um einige Prozent höher liegt. Der Grund

für diese starken Unterschiede trotz gleicher Festwerte (Korngröße und Härtebezeichnung) ist in dem Fehlen einheitlicher Richtlinien für die Schleifscheibenprüfung zu sehen. Während für die Korngrößenbestimmung schon Normen bestehen — in Deutschland sind zwei genormte Siebreihen, amerikanische Norm ASTM und DIN 1171[21]) in Anwendung — gibt es für die Schleifscheibenhärte und ihre Bestimmung heute noch keine Norm, da zu viele unkontrollierbare Faktoren diese Größe beeinflussen. Auch Bornemann[22]) hat festgestellt, daß Scheiben einer Firma angeblich verschiedener Härte in ihrer Wirkung fast gleich waren und daß Scheiben anderer Fabriken bei gleicher Härtebezeichnung ihrer Wirkung nach hätten umgekehrt bezeichnet sein müssen.

Bei der Beurteilung des Gütegrades von Schleifscheiben mit Hilfe der Arbeitstemperatur lassen sich derartige Fehler ausschalten, da die Prüfung während des Arbeitsprozesses selbst erfolgt und die Messung der Temperatur weit unabhängiger von der Person des Prüfers ist als dies bei den Härteprüfungen der Fall sein kann.

c) Der Einfluß der Kornqualität.

Während Siliziumkarbid nur in einer Qualität hergestellt wird, kommt der Elektrokorund in verschiedenen Qualitäten auf den Markt. Die Unterschiede sind bedingt durch den Gehalt an Al_2O_3. Man unterscheidet bei dem handelsüblichen Elektrokorund drei Arten:

1. geringere Qualität mit 60—80% Al_2O_3;
2. bessere Qualität mit 94—97% Al_2O_3;
3. Sonder- und Edelkorund mit 99—99,5% Al_2O_3.

Wegen der niedrigen Härte findet die 1. Qualität nur bei Scheiben für Arbeiten, die keine großen Anforderungen an Genauigkeit und Leistung stellen, Verwendung und kann aus vorliegender Betrachtung ausgeschlossen werden.

Der Einfluß der Kornqualität auf die Schleifwirkung kann — abgesehen von der vielleicht etwas kleineren Scheibenabnutzung bei besserer Kornqualität, die aber wirtschaftlich von untergeordneter Bedeutung ist — nur mit Hilfe der auftretenden Arbeitstemperatur ermittelt werden.

Hierzu ein Versuch:

---

[21]) Kleinschmidt, Schleif- u. Poliertechn., Bd. I.
[22]) Bornemann, Diss., TH. Dresden, 1931.

Es wurden zwei Scheiben der Fa. III untersucht, von denen die eine mit Edelkorund (Fig. 20), die andere mit Elektrokorund (Fig. 21) hergestellt war. Die Festwerte der Scheiben waren die gleichen. In der erzeugten Schleiftemperatur zeigt sich deutlich die überlegene Güte der Edelkorundscheibe. Bei der gleichen Spanleistung, z. B. 12/100 mm, erzeugt die Elektrokorundscheibe eine um 13,5% höhere Temperatur als die Edelkorundscheibe.

d) Einfluß der Scheibenstruktur auf die Schleifwirkung.

Durch die Festwerte, Korngröße und Härte allein ist der Aufbau einer Schleifscheibe noch nicht bestimmt. Die von der Fa. III gelieferten Scheiben z. B. zeigen schon äußerlich ein völlig anderes Aussehen. Sie erscheinen in ihrem Gefüge wesentlich dichter. Die Korngrößen und Härtegrade stimmen nicht genau mit den Daten der von den anderen Firmen gelieferten Scheiben überein. Aus den Diagrammen (Fig. 16—21) ist ersichtlich, daß die Schleiftemperatur bei gleicher Abnahme etwas höher liegt.

Durch besondere Verfahren, z. B. Zusatz von Stoffen, die befähigt sind, Gasbläschen zu erzeugen, wie pulverförmiges Kalzium, Magnesium u. a., ist man heute in der Lage, eine künstliche Porigkeit der Schleifscheiben herbeizuführen sowie die Größe und Verteilung der Poren weitgehend zu beeinflussen[23]). Der Porenraum kann bis zu 70% und mehr des Scheibenvolumens erreichen. Ein Vorteil dieses aufgelockerten Gefüges besteht darin, daß sich die Scheiben nicht so schnell zusetzen, da die Poren, während die Scheibe mit dem Werkstück in Berührung steht, als Spanreservoir dienen, aus dem die Späne infolge der Zentrifugalkräfte nach der Trennung vom Werkstück wieder herausgeschleudert werden, so daß diese Scheiben sich besonders zum Schleifen stark schmierender Werkstoffe eignen. Schließlich muß sich eine solche Änderung des Gefüges aber auch sonst noch in der Schleifwirkung äußern. Die Norton-G.m.b.H. schreibt in ihrer Werkschrift „Schliff und Scheibe“: „In manchen Fällen macht sich die Änderung der Struktur bei dem erzielten Schliff bemerkbar, in anderen Fällen nicht, obgleich sich die genau angepaßte Struktur immer in verbesserter Schleifwirkung äußert.“ Diese Angabe ist recht unbestimmt. Ein Verfahren, das festzustellen gestattet, in welchem Maße die Strukturänderung die Schleifwirkung beeinflußt und welches die dem Material genau angepaßte Struktur ist, gibt es bisher nicht.

---

[23]) Norton-Werkschrift „Schliff und Scheibe“.

Hier kann die Schleiftemperatur einen Maßstab bieten. Diejenige Struktur wird dem Werkstoff am besten angepaßt sein und deshalb die günstigste Schleifwirkung ergeben, die bei der größten Spanabnahme die geringsten Schleiftemperaturen erzeugt. Auch bietet die Temperatur die Möglichkeit, quantitativ den Unterschied zwischen normalen keramisch gebundenen Scheiben und solchen mit besonderer Struktur zu bestimmen.

Während bei der normalen keramisch gebundenen Scheibe die Spitzen und Kanten der Schleifkörner dicht beieinander liegen, ist die Oberfläche der porösen Scheibe von mehr oder weniger großen Hohlräumen durchsetzt. Die kleinen Schleifkörner bilden gleichsam die Wandungen dieser Zellen.

Wie die erzeugenden Firmen selbst angeben, werden derartige Scheiben mit Vorteil bei stark schmierenden Werkstoffen angewandt. Bei gehärteten Materialien, wie in vorliegendem Fall, bietet die Verwendung hochporöser Scheiben keinen Vorteil (Fig. 23) gegenüber der normalen Scheibe.

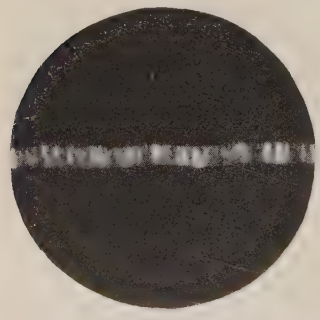


Abb. 7.
H = 4—5 μ.

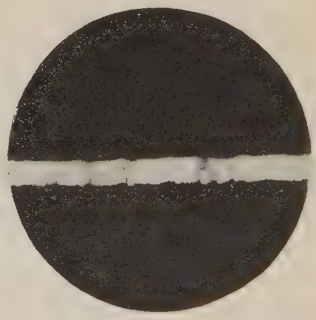


Abb. 8.
H = 3,5—5 μ.

Die Scheibe III 100/120 L (porös) zeigt weder eine besonders hohe Abnahme, noch niedrigere Arbeitstemperaturen, was in der ungünstigeren Schneidenform begründet ist, da statt Spitzen gewissermaßen schneidende Wände in Erscheinung treten. Nennenswerte Unterschiede in der Oberflächengüte gegenüber den anderen Scheiben gleicher Körnung sind nicht feststellbar (Abb. 7 u. 8). Jedoch fällt der Schliff nicht so blank, sondern grau aus.

Eine weitere Art der Sonderscheiben sind die Scheiben mit sog. „geregeltem Gefüge", die sich durch einen besonders homogenen Aufbau auszeichnen sollen.

Auch hierzu ein Versuch:

Es wurden zwei Scheiben gleicher Korngröße und Härte (60 K) verglichen, von denen die eine in geregeltem Gefüge „G", die andere normal ausgeführt war (Fig. 22 u. 19). Eine Überlegenheit der Scheibe „G" ist bei niedrigen Anpreßdrücken festzustellen, was erklärlich ist, da Unregelmäßigkeiten im Gefügeaufbau sich bei den niedrigen Anpreßdrücken stärker auswirken. Durch die größere Abnutzung bei höheren Anpreßdrücken tritt schneller eine Egalisierung der Scheibe ein, so daß Unterschiede nicht mehr in Erscheinung treten. Ein Unterschied in der erzeugten Oberflächengüte ist nicht festzustellen.

Mit Hilfe der Schleiftemperatur läßt sich also objektiv feststellen, welche Struktur dem zu schleifenden Material am besten angepaßt ist, und ob und unter welchen Bedingungen Sonderscheiben vorteilhaft Verwendung finden. Bisher mußte es der Erfahrung des Schleifers überlassen werden, ob er die eine oder die andere Scheibe für geeigneter hielt. Die Bewertung war subjektiv.

Um eine bessere Vergleichsmöglichkeit und eine übersichtliche Klassifizierung der benutzten Scheiben zu geben, sind in den folgenden Diagrammen, Fig. 24 u. 25, geordnet nach Lieferfirmen und Körnungen, die Versuchsergebnisse noch einmal zusammengestellt. Und zwar wurde als Abszisse die Temperatur in mV, als Ordinate die Spanabnahme in 1/100 mm nach 10 sek Schleifdauer gewählt. Die Auswahl der für diesen Bearbeitungsfall günstigsten Scheiben kann nun leicht erfolgen, sei es, daß man von einer bestimmten Temperatur ausgehend, die Scheibe mit der größten Spanabnahme sucht, sei es, daß man eine bestimmte Spanabnahme zum Ausgangspunkt nimmt und die Scheibe mit der geringsten Arbeitstemperatur wählt.

Derartige Diagramme lassen sich mit ähnlichen Versuchsanordnungen auch für die anderen Schleifverfahren — Innenschliff, Flächenschliff, Trennschliff — aufstellen, so daß auch für diese Schleifprozesse die am besten geeignete Scheibe gefunden werden kann.

Gewisse Streuungen und Überschneidungen müssen in Kauf genommen werden und lassen sich bei einem so unhomogenen Werkzeug, wie es eine Schleifscheibe ist, nicht vermeiden.

2. Teil.

IV. Allgemeines über die Schleifbarkeit.

Die bisherigen Versuche haben Gültigkeit für ein bestimmtes Material, gehärteten St 70.11. Bekanntlich kann man nicht alle Werkstoffe mit derselben Scheibe wirtschaftlich bearbeiten; d. h. die Schleifbarkeit der einzelnen Werkstoffe ist verschieden.

Wie beim Drehen durch die Bearbeitbarkeitsprüfung der Werkstoff bestimmt wird, der die höchste Schnittgeschwindigkeit zuläßt, kann beim Schleifen dasjenige Material ermittelt werden, das unter sonst gleichen Bedingungen die größte Spanabnahme in der Zeiteinheit gestattet. Nicht nur die Untersuchung der Schneidfähigkeit der Scheibe ist erforderlich, um ein wirtschaftliches Schleifen zu ermöglichen, sondern auch die Auswahl der Werkstoffe muß nach Gesichtspunkten erfolgen, die eine möglichst billige und schnelle Fertigung gewährleisten, weshalb die Kenntnis der Schleifbarkeit der zu bearbeitenden Materialien unerläßlich ist.

Der Untersuchung der Bearbeitbarkeit verschiedener Werkstoffe mit Hilfe der auftretenden Schleiftemperatur soll der zweite Teil dieser Arbeit dienen.

Bereits im Jahre 1936 gab W. Reichel[24]) die Anregung, Bearbeitbarkeitsprüfungen beim Schleifen auf Grund der auftretenden Zerspanungstemperatur durchzuführen: „Ähnliche Anwendungen (des Zweistahlverfahrens) können ... sogar beim Schleifen durchgeführt werden. Beim Schleifen müßte man an Stelle einer Werkstückscheibe zwei nebeneinander liegende Scheiben aus verschiedenem Werkstoff zu gleicher Zeit überschleifen und die Werkstückscheiben durch ein in den Stromkreis geschaltetes Millivoltmeter verbinden.“ Die praktische Durchführung dieses Vorschlages stößt allerdings auf gewisse Schwierigkeiten. Da die Schleifscheibe nicht leitend ist, müssen die beiden Werkstoffscheiben einander berühren. Die Berührung dürfte aber auch nur an den äußersten Kanten erfolgen. Ist die Berührungsfläche größer, so fließt der Thermostrom nicht durch das Instrument, sondern er wählt den Weg des geringeren Widerstandes und fließt durch die von der Schleifstelle am weitesten entfernte Stelle der Berührungsfläche. Das Thermopaar wäre gleichsam kurzgeschlossen, ebenso als wenn die beiden Drähte eines Thermoelementes in einer gewissen Entfernung von

[24]) Reichel, Mabau, 1936, H. 7/8.

der Lötstelle miteinander in Berührung kommen. Die beiden Werkstoffscheiben müssen also unter einem Winkel gegeneinander geneigt sein und einen dem Abschliff entsprechenden Vorschub gegeneinander erhalten, was praktisch zwar durchführbar, aber immerhin etwas verwickelt sein würde. Ein anderer Gedanke, zwei Wellenstümpfe aus verschiedenem Material aneinander stoßen zu lassen und an der Berührungsstelle zu schleifen, erwies sich aus den oben angeführten Gründen im Verlauf von groben Vorversuchen ebenfalls als schlecht gangbar. Abgesehen von diesen Schwierigkeiten erscheint mir das gleichzeitige Schleifen von zwei verschiedenen Materialien an sich nicht als ideal. Da die Werkstoffe, um ein Thermopaar zu bilden, verschieden sein müssen, ist auch ihre Bearbeitbarkeit und ihre Rückwirkung auf die Schleifscheibe verschieden. Die so ermittelte Temperatur wäre also ein Wert, der die Bearbeitbarkeit zweier Werkstoffe kennzeichnet. Bestimmt soll aber die Schleifbarkeit jedes einzelnen Materials werden. Es wurde deshalb eine auf diesem Zweiwerkstoff-Verfahren beruhende Versuchsapparatur entwickelt, die den Einfluß des einen Materials auf die Schleifwirkung praktisch ausschaltet. Nach einigen Versuchsreihen erwies sie sich jedoch in der gewählten Form als nicht befriedigend. Weil sich aber im Verlauf dieser Versuche einige interessante Ergebnisse zeigten und der der Apparatur zugrunde liegende Gedanke in anderen Versuchskombinationen vielleicht fruchtbar werden könnte, soll sie im folgenden kurz erläutert werden.

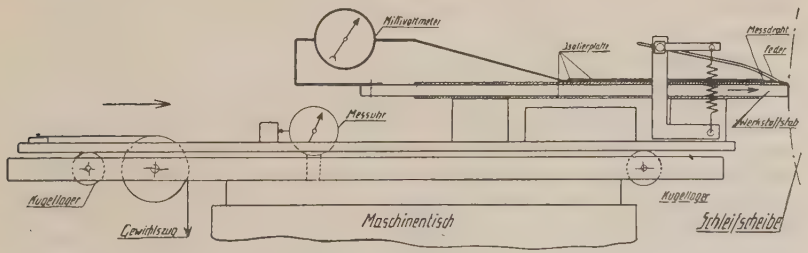


Abb. 9.

Das zu prüfende Material wurde zu Stäben mit einem Querschnitt von 7,5×10 mm bearbeitet. Diese Stäbe wurden isoliert auf einem Wagen befestigt, der auf 4 Kugellagern sehr leicht in horizontaler Richtung beweglich ist (Abb. 9).

Mittels Gewichtszug kann dieser Wagen, der auf dem Tisch der Schleifmaschine befestigt ist, mit bestimmtem Anpreßdruck gegen die Schleifscheibe gefahren werden. Der Materialstab stellt den einen Teil eines Thermopaares dar. Der andere Teil wird durch einen Konstantandraht von 0,2 mm ∅ gebildet, der an der Schleifstelle mit dem Stab in Berührung steht, im übrigen aber gegenüber dem Versuchsmaterial isoliert ist. Versuchsmaterial und Konstantandraht sind durch ein Millivoltmeter miteinander verbunden. Um ein beim Schleifen evtl. auftretendes Schwingen oder seitliches Wandern des Drahtes, der an sich durch den Schleifdruck immer auf das Versuchsstück gepreßt werden muß, zu verhindern, wurde der Draht durch eine isolierte Feder mit konstantem Druck gegen das Werkstück gepreßt. Der Querschnitt des Drahtes ist gegenüber dem Querschnitt des Prüfstückes so gering, daß er keinerlei Einfluß auf die Schleifwirkung haben kann, sondern lediglich als Meßdraht zu werten ist.

Die Versuche wurden nun so ausgeführt, daß wie im ersten Teil der Arbeit das zu prüfende Material mit verschiedenen Anpreßdrücken gegen die Scheibe gepreßt wurde. Nach 10 sek Schleifdauer wurden Abnahme und Temperatur bestimmt. Zur Messung der Abnahme wurde das Versuchsstück vor und nach dem Schliff gegen einen mit dem Maschinentisch fest verbundenen Anschlag gefahren. Die Längenabnahme konnte an einer ebenfalls mit der Maschine fest verbundenen Meßuhr, die mit ihrem Taststift an einer Fläche des Wagens anlag, gemessen werden. Die Versuchsanordnung als solche hat sich bewährt. Daß die Versuchswerte trotzdem nicht verwendbar waren, liegt in der Natur des vorliegenden Schleifvorganges.

Während beim Rundschliff eine theoretische Linienberührung vorliegt, handelt es sich hier um eine Flächenberührung. Da das Versuchsstück dauernd mit der Scheibe in Berührung steht, außerdem die Wärmeleitverhältnisse schlechter als bei den Ringen sind und Kühlung bei der Art der Versuche nicht möglich war, mußten die Anpreßdrücke sehr niedrig gehalten werden. Infolgedessen sind die spezifischen Anpreßdrücke derartig gering, daß selbst bei der weichsten Scheibe (II 100/120 G), die für den Rundschliff wegen zu großen Verschleißes ausscheidet, kein Ausbrechen der Körner stattfindet. Alle Scheiben stumpfen verhältnismäßig schnell ab und setzen sich voll, sodaß keine oder praktisch nur unbedeutende Unterschiede in Temperatur und Spanabnahme bei den verschiedenen Werkstoffen auftreten. Im folgenden sind drei Diagramme wiedergegeben (Fig. 26—28), die zeigen, daß die Abnahme-Tempe-

ratur-Linien trotz verschiedener Scheiben und Materialien praktisch gleich sind. Versuchsergebnisse mit ähnlichen Anordnungen können demnach keinesfalls auf den Rundschliff übertragen werden. Ein weiterer Nachteil dieser Anordnung ist, daß jeder zu prüfende Werkstoff mit dem Meßdraht geeicht werden muß, da wegen der verschiedenen Thermoeigenschaften die mV-Werte nicht unmittelbar als Vergleichszahlen gewertet werden können. Diese Eichungen benötigen einige Zeit und sind eine weitere Fehlerquelle. In Fig. 29 u. 30 sind die aufgenommenen Eichkurven für zwei Materialien GMA und St 70.11, die zur Aufstellung der Diagramme 26—28 benötigt wurden, wiedergegeben.

Da außerdem diese Versuchsanordnung nicht, wie gefordert, dem praktischen Schleifbetrieb entspricht, wurde auch für die Bearbeitbarkeitsprüfung die bewährte Versuchsanordnung, wie im ersten Teil der Arbeit erläutert, benutzt, wodurch ein unmittelbarer Vergleich der Versuchsergebnisse möglich wird.

Eine Schwierigkeit bei der Bearbeitbarkeitsbestimmung für den Vorgang des Schleifens tritt gegenüber den anderen Zerspanungsvorgängen dadurch auf, daß hier das Werkzeug in weiten Grenzen veränderlich ist. Während beim Drehen von legiertem und unlegiertem, hartem und weichem Stahl die Drehmeißel immer dieselben bleiben, bietet sich beim Schleifen die Möglichkeit, untereinander völlig anders geartete Scheiben zu verwenden. Selbst wenn beim Drehmeißel die Schneidenwinkel geändert werden, bleibt die Bearbeitbarkeitsrangordnung verschiedener Werkstoffe dieselbe, die aufgestellte Bearbeitbarkeitsfolge ist also absolut. Nicht so beim Schleifen. Manche Werkstoffe sind mit bestimmten Scheiben nur sehr schlecht, andere mit denselben Scheiben wieder gut bearbeitbar. Bearbeitbarkeit und Geeignetheit der Scheiben überschneiden sich also. Die Bearbeitbarkeitsprüfung und die Aufstellung einer Schleifbarkeitsrangordnung verschiedener Materialien ist demnach nur möglich und zweckvoll, soweit sich die bei der Prüfung benutzte Scheibe zum Schleifen dieser Werkstoffe eignet und wird nur für Scheiben ähnlicher Eignung Gültigkeit haben. Diese durch die Eigenart des beim Schleifen benutzten Werkzeuges bedingte Einschränkung ist aber praktisch ohne Belang, da meist nicht die gesamte Bearbeitbarkeitsskala aller schleifbaren Werkstoffe, sondern die Rangordnung innerhalb bestimmter Werkstoffgruppen, wie verschiedene Kohlenstoffstähle, Chromnickelstähle, verschiedene Gußeisen o. ä., von Inter-

esse ist. Mit der für diese Gruppen ähnlicher Materialien im allgemeinen geeigneten Scheibe muß die Bearbeitbarkeitsprüfung vorgenommen werden.

V. Versuchsergebnisse.

Außer dem früher benutzten Material St 70.11 (gehärtet) wurden noch vier weitere Werkstoffe untersucht, und zwar

St. C. 35.61 mit einer Festigkeit von etwa 50 kg/mm²,

Kugellagerstahl, GMA, mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,97%. einem Chromgehalt von 1,57% und einer Festigkeit von etwa 61 kg/mm²,

Vergütungsstahl, VCMO 135, mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,36% und einer Festigkeit von 90 kg/mm² in vergütetem Zustand,

Gußeisen mit einer Brinellhärte von $H_B = 170$.

Die Ergebnisse sind in den Diagrammen Fig. 31—46 wiedergegeben.

Zunächst wurde die Bearbeitbarkeitsfolge der oben genannten Werkstoffe mit der Scheibe II, Körnung 100/120, Härte M, ermittelt. Da für die zwei Werkstoffversuche die erste Versuchsapparatur abgebaut worden war, wurden die Versuche mit St 70.11 und der Scheibe II 100/120 M noch einmal wiederholt, um festzustellen, ob durch den Umbau etwa eine Änderung der Ergebnisse eintritt. Es zeigte sich die völlige Übereinstimmung der Versuchswerte (vgl. Fig. 31 und Fig. 10). Die erzeugte Oberfläche ist gut. $H = 3\,\mu$.

Dann wurde St.C 35.61 untersucht (Fig. 32). Dieser Werkstoff neigt etwas zum Verschmieren. Nach manchen Versuchen sind mit dem Mikroskop vereinzelt kleine Metallspäne auf der Scheibenoberfläche festzustellen. Mikroskopische Untersuchungen dieses Scheibenzustandes von Bornemann[25]) haben ergeben, daß es sich weniger um ein Zusetzen der Poren handelt, als um ein Überziehen abgestumpfter Körner mit abgeplatteten Spänen. Das Material neigt aber noch nicht so zum Schmieren, daß dies bei der Mehrzahl der Körner stattfindet, sonders es scheint nur bei einzelnen Körnern, die eine unzweckmäßige Schneidenform haben und deshalb besonders hohe Schneidentemperaturen erzeugen, der Fall zu sein. Bei weiterem Schleifen brechen diese verschmierten Körner wieder aus, so daß die Scheibe wieder scharf schneidet. Unterstützt wird diese Annahme durch die Tatsache, daß die Steigung der Span-

[25]) Bornemann, Diss., TH. Dresden, 1931.

abnahme-Temperatur-Linie (Fig. 36), bei diesem Werkstoff verhältnismäßig steil ist. Bei den höheren Anpreßdrücken, wo die Abstumpfung und das Ausbrechen der stumpfen Körner, also auch der Wechsel zwischen leichtem Verschmieren und Wiederscharfschneiden schneller erfolgt, wird das Verhältnis von Arbeitstemperatur zur Spanabnahme günstiger. Die erzeugte Oberfläche ist gut $H = 2{,}5 \div 3\,\mu$, was ebenfalls dafür spricht, daß das Verschmieren nur vorübergehend und an wenigen Stellen auftritt.

Die Bearbeitbarkeitslinie liegt im Ganzen niedriger als bei dem gehärteten St 70.11. Das Material läßt sich also schlechter schleifen.

Das dritte der untersuchten Materialien, GMA (Fig. 33), zeigt bei wenig niedriger Arbeitstemperatur eine wesentlich geringere Spanabnahme gegenüber St.C. 35.61, ist also schwerer bearbeitbar, was in seiner größeren, durch den Chromgehalt bedingten Zähigkeit begründet sein kann. Bezüglich der Neigung zum Verschmieren gilt etwa das Gleiche wie bei dem vorhergehenden Werkstoff. Gewisse Anzeichen sind feststellbar, jedoch sind sie zu gering, um einen nennenswerten Einfluß auf Spanabnahme und Oberflächengüte auszuüben. Die erzielte Oberfläche ist etwas schlechter als bei dem vorherigen Material. $H = 4 - 4{,}5\,\mu$.

Das nunmehr geprüfte Material, VCMO 135 (Fig. 34), das auch einen Chromgehalt von 1,1% hat, aber in vergütetem Zustand eine Festigkeit von 90 kg/mm² besitzt, liegt in seiner Bearbeitungsfähigkeit zwischen den Werkstoffen GMA und St.C. 35.61 (Fig. 36), womit erwiesen ist, daß die Schleifbarkeit unabhängig von der Festigkeit ist. Neigung zum Schmieren konnte nicht festgestellt werden. Die erzeugte Oberfläche ist gut. $H = 3\,\mu$.

Als letztes Material wurde Gußeisen untersucht (Fig. 35). Bekanntlich neigt Grauguß stark zum Schmieren. Aus den Versuchsdiagrammen geht dies auch deutlich hervor. Bei scharfer Scheibe, d. h. wenn die Scheibe vor jedem Versuch abgezogen wird, liegt die Bearbeitbarkeitslinie zwischen St.C. 35.61 und St 70.11 (Fig. 36). Die Schleifbarkeit von Gußeisen ist also an sich als gut anzusprechen. Auch die erzielte Oberflächengüte ist befriedigend. $H = 3{,}5\,\mu$.

Wird die Scheibe n i c h t vor jedem Versuch abgezogen, so zeigt sich bereits bei jedem zweiten Versuch nach dem Abziehen ein mit steigendem Anpreßdruck stärker werdendes Absinken der Spanabnahme, während die Temperatur dieselbe Höhe wie bei dem Schliff mit scharfer Scheibe behält. Die Scheibe setzt sich stark zu und ist demnach für das Schleifen von Gußeisen ungeeignet. Sache der Schleifmittelindustrie ist es, die Scheiben so auszubilden,

daß bei gleichbleibender Schleifleistung diese Nachteile ausgeschlossen werden.

In Fig. 36 sind die fünf bearbeiteten Werkstoffe zusammengestellt, und zwar ist die Temperatur wieder in Abhängigkeit von der Spanabnahme aufgetragen.

Es ergibt sich eine klare Abstufung der Bearbeitbarkeit, bei der das gehärtete Material St 70.11 an erster Stelle steht. Weiter geht daraus hervor, daß die Bearbeitbarkeit in keine Beziehung zu Festigkeit, Härte und Dehnung gebracht werden kann. Die Schleifbarkeit ist nicht von einer Materialeigenschaft abhängig, sondern von dem Zusammenwirken aller Faktoren, die die Eigenart eines Werkstoffes ausmachen.

Wenn die mit der einen Scheibe aufgestellte Bearbeitbarkeitsrangordnung richtig ist, so muß sie auch für andere Scheiben gleicher oder ähnlicher Eignung gelten. Zwar wird sich die absolute Lage der Spanabnahme-Temperatur-Linien entsprechend der Schneidfähigkeit der Scheibe verschieben, aber die Aufeinanderfolge der geschliffenen Werkstoffe in dem Bearbeitbarkeitsdiagramm muß dieselbe bleiben.

Um dies nachzuprüfen, wurden die gleichen Materialien mit einer ähnlichen Scheibe, 100/120 L (porös), — gleiche Körnung, ähnliche Härte, aber poröse Struktur — geschliffen (Fig. 37—40). Eine andere Struktur wurde gewählt, um gleichzeitig festzustellen, wie sich die Strukturänderung bei den zum Schmieren neigenden Materialien auswirkt.

Wie schon durch die Versuche im ersten Teil der Arbeit erwiesen, bringt die Verwendung hochporöser Scheiben beim Schleifen von gehärtetem Werkstoff keinen Vorteil. Auch bei den übrigen Werkstoffen liegen die Spanabnahme-Temperatur-Linien tiefer als bei der Scheibe 100/120 M. Die Schneidfähigkeit dieser Scheibe ist also im Ganzen kleiner, was durch die geringere Zahl der Schneiden und durch die wabenähnliche Anordnung der Körner hinreichend begründet ist. Die Bearbeitbarkeitsrangordnung der Materialien bleibt aber die gleiche, vgl. Fig. 36 u. 41.

Beim Schleifen der zum Schmieren neigenden Materialien zeigt sich die poröse der normal gebundenen Scheibe überlegen. Auch bei den höheren Anpreßdrücken und wenn sie nicht vor jedem Versuch abgezogen wird, zeigen sich keine nennenswerten Spuren von Schleifspänen auf ihrem Umfang. Besonders deutlich wird die bessere Schneidhaltigkeit in nicht abgezogenem Zustand beim Schleifen des Gußeisens. Während bei der nicht abgezogenen

Scheibe 100/120 M ein starkes Absinken der Spanabnahme bei gleichbleibender Temperatur festzustellen ist, liegt die Spanabnahme-Linie der nicht abgerichteten porösen Scheibe nur um knapp 1/100 mm nahezu parallel unter der mit frisch abgezogener Scheibe erreichten. Das läßt darauf schließen, daß nur eine gewisse Abstumpfung eingetreten ist, die Scheibe aber nicht zugesetzt hat und noch frei schneidet. Die poröse Scheibe wird also nicht so schnell abgerichtet werden müssen, so daß sie sich trotz geringerer Schneidfähigkeit zum Schleifen von schmierenden Werkstofffen besser eignet als die Scheibe mit üblicher Struktur. Die Oberflächengüten sind etwas schlechter als die mit der Scheibe 100/120 M erzeugten.

$H = 4{,}5 \div 5{,}5\ \mu$.

Schließlich wurden dieselben Materialien mit einer Scheibe gleicher Körnung aber harter Bindung, 100/120 S, geschliffen. Die Versuchsergebnisse sind in den Diagrammen Fig. 42—46 wiedergegeben. Schon beim Schleifen des gehärteten Materials St 70.11 hatte sich gezeigt, daß diese Scheibe von allen feinkörnigen Scheiben die geringste Eignung hatte (Fig. 24). Dasselbe bestätigt sich auch bei den übrigen Werkstoffen.

Während bei dem Vergütungsstahl VCMO 135 (Fig. 44) noch ein einwandfreier Schliff möglich ist, muß die Scheibe zum Schleifen der übrigen drei Werkstoffe als unbrauchbar angesehen werden. Die Scheibe setzt sich in kurzer Zeit außerordentlich stark zu. In den ersten Sekunden nach dem Abrichten schneidet sie noch frei, was an dem scharfen, zischenden Geräusch und der Funkengarbe deutlich erkennbar ist, dann beginnt das Verschmieren. Das Geräusch wird dumpf und rumpelnd und die Funkengarbe schwächer.

Am wenigsten setzt sich die Scheibe beim Schleifen des Kugellagerstahls GMA (Fig. 43) zu. Bei Gußeisen sind die Schmierspuren verhältnismäßig klein (Abb. 10), infolgedessen die erzeugte Oberfläche noch zufriedenstellend. $H = 4{,}5\ \mu$.

Schleift man bei Gußeisen, ohne die Scheibe abzuziehen, noch einen zweiten Versuch, so zeigt sich wie bei der Scheibe 100/120 M ein mit steigendem Anpreßdruck stärker werdendes Absinken der Spanabnahme-Linie (Fig. 45) bei gleichbleibender Temperatur.

Während bei Gußeisen infolge der Kleinheit der verschmierten Stellen noch ein zweiter Versuch möglich ist, ohne die Scheibe frisch abzurichten, tritt bei dem Material St. C. 35.61 am Ende des ersten Versuches bereits ein derartig starkes Zusetzen auf, daß der Zustand der Scheibe einen weiteren Versuch verbietet. Unregel-

mäßig über den Umfang der Scheibe verteilt sind große Stellen mit Metall verschmiert, Abb. 11.

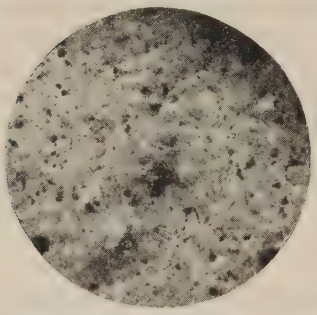


Abb. 10.
Scheibenoberfläche nach
10 sek Schleifdauer.

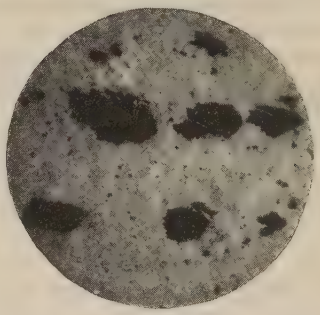


Abb. 11.
Scheibenoberfläche nach
10 sek Schleifdauer.

Die Metallteilchen an der Scheibenoberfläche verursachen ein ungleichmäßiges Greifen der Scheibe. Es treten heftige Schwingungen auf, verbunden mit starkem Geräusch. Das Werkstück wird unrund und die Oberfläche schlecht. Die verschmierten Stellen fressen Rillen in die Werkstückoberfläche.

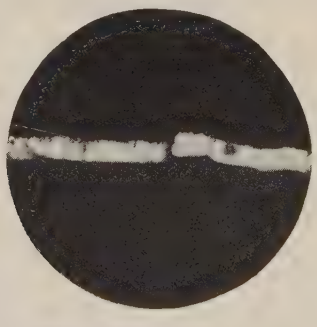


Abb. 12.
H = 10—17 μ.

Ist die Scheibe frisch abgerichtet und unterbricht man den Versuch nach etwa 3 Sekunden, also ehe das starke Verschmieren einsetzt, zeigt die erzeugte Oberfläche eine hohe Güte. H = 2,5 μ.

Zum Schleifen nicht gehärteter Werkstoffe ist diese Scheibe also ungeeignet, was beweist, daß die Werkstattregel „Je weicher das Material, um so härter die Scheibe" nicht in jedem Falle zutreffend ist.

Aus den aufgenommenen Diagrammen geht diese Ungeeignetheit der Scheibe deutlich hervor; oder vom Werkstoff ausgehend, kann man sagen, daß sich die Materialien St. C. 35.61, GE und GMA von dieser Scheibe schlecht bearbeiten lassen. Trägt man wieder die Spanabnahme-Temperatur-Linien aller geschliffenen Werkstoffe in einem Diagramm auf (Fig. 46), so zeigt sich, daß die mit den beiden anderen Scheiben aufgestellte Bearbeitbarkeitsrangordnung, wie zu erwarten war, für die Scheibe 100/120 S nicht mehr zutrifft. Wie schon weiter oben ausgeführt, ist dies aber ohne Belang, da die Scheibe 100/120 S wegen ihrer Ungeeignetheit praktisch zum Schleifen dieser Werkstoffe nicht Verwendung finden kann.

VI. Beziehung zwischen Schleifbarkeit und Drehbarkeit.

Da es sich beim Schleifen um einen Zerspanungsvorgang handelt, liegt die Frage nahe, ob die Schleifbarkeit der Werkstoffe sich in irgendeine Beziehung zu ihrer Bearbeitbarkeit durch die übrigen Zerspanungswerkzeuge, insbesondere ihre Drehbarkeit, setzen läßt.

Die untersuchten Materialien, außer dem gehärteten St 70.11, wurden deshalb mit Hilfe des Zweistahlverfahrens auf ihre Drehbarkeit hin geprüft.

In folgender Tabelle und Fig. 47 sind die Ergebnisse zusammengestellt. Als Drehmeißel wurde Schnellstahl und Titanit U benutzt.

St. C. 35.61		GMA	
v m/min	mV	v m/min	mV
25	4,8	25	6,7
37	5,8	36,5	7,9
47,5	6,68	48	8,7
62	7,61	60	9,36
70	8,1	70	9,7

GE		VCMO 135	
v m/min	mV	v m/min	mV
24	4,72	24,5	6,12
36	5,8	36	7,43
47,5	6,5	50	8,48
60	7,43	60	9,0
70	8,5	68,5	9,39

Die Zahl der untersuchten Materialien ist zu gering, als daß konkrete Aussagen darüber gemacht werden könnten, ob Zusammenhänge zwischen Schleifbarkeit und Drehbarkeit bestehen. Die Verhältnisse beim Schleifen sind völlig andere als bei den übrigen Zerspanungsvorgängen. Die einzelnen Schneiden stehen nicht auf Schnitt, d. h. im Sinne des mit geeignetem Span- und Freiwinkel arbeitenden Schneidenkeils eines Drehmeißels oder Fräsers. Die Werkstoffteilchen werden herausgerissen, was sich in der unregelmäßigen und zerrissenen Oberfläche etwa gegenüber einer feinstgedrehten Oberfläche äußert, so daß eine Übereinstimmung der Bearbeitbarkeit wohl kaum zu erwarten ist. Die in vorliegendem Fall beim Drehen sich ergebende ähnliche Rangordnung scheint mir daher mehr ein Zufallsresultat zu sein.

Die Bearbeitbarkeit ist keine dem Werkstoff eigentümliche, allgemeingültige physikalische Eigenschaft, sondern kann sich je nach der Art der Bearbeitung in Drehbarkeit, Bohrbarkeit, Schleifbarkeit usw. wesentlich unterscheiden[26]).

Durch weitere eingehende Untersuchungen, die aber über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen, wäre diese Frage zu klären.

VII. Erzielte Oberflächengüte.

Die unter den vorliegenden Verhältnissen — Scheibengeschwindigkeit 33 m/sek, Werkstückgeschwindigkeit 12 m/min, Anpreßdruck 3 kg — mit geeigneten Scheiben erzielten Oberflächenqualitäten liegen nach dem auf Grund von Erfahrungswerten zusammengestellten Normungsvorschlag von Schmaltz[27]) innerhalb der für Feinschliff angegebenen Toleranzen.

Bekanntlich läßt sich aber durch Variation von Scheiben- und Werkstückgeschwindigkeit die erzielte Oberflächengüte weitgehend verändern.

VIII. Eichungen.

Um die auftretenden Temperaturen in ° C zu kennen, wurden die Drehmeißel sowie die beim Schleifen benutzten Thermodrähte auf einer im Werkzeugmaschinen-Laboratorium entwickelten Eichvorrichtung geeicht.

---

[26]) Schallbroch, Z. d. VDI, 77 (1933), S. 965.
[27]) Schmaltz, Techn. Oberflächenkunde, 1936.

Ein Kupferbalken, an dem ein geeichtes Silber-Konstantan-Element angeschlossen ist, wird mit zwei Gebläsebrennern auf die jeweils erforderliche Höchsttemperatur erwärmt. Die zu eichenden Werkstoffe werden dann bei absinkender Temperatur in beliebigen

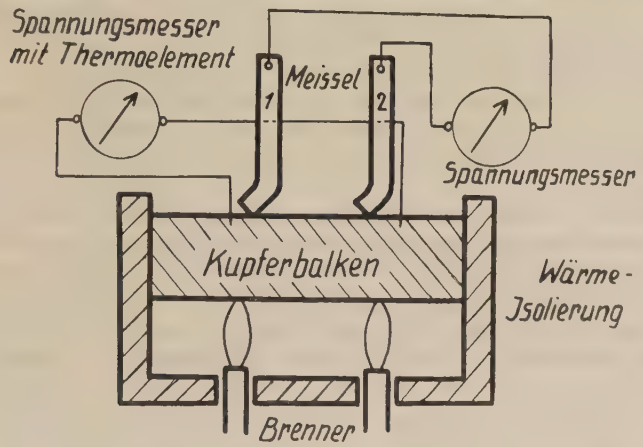


Abb. 13.

Zeitabständen mittels Gewichten auf den Kupferbalken gedrückt und zeigen auf dem angeschlossenen Millivoltmeter den ihren Thermoeigenschaften entsprechenden Ausschlag an. Ein verhältnismäßig hoher Anpreßdruck ist erforderlich, damit die sich auf dem Kupfer bildende Oxydschicht durchschlagen wird, weil diese Oxyde das Meßergebnis beeinflussen würden.

Mit Hilfe der Eichkurve des Silber-Konstantan-Elementes wird dann leicht eine Temperatur-mV-Kurve der zu eichenden Werkstoffe aufgestellt. In Fig. 48 und 49 sind die aufgenommenen Eichkurven für die benutzten Drehstähle und Thermodrähte wiedergegeben.

IX. Zusammenfassung.

Durch vorstehende Versuche ist erwiesen, daß sich an Hand der auftretenden Schleiftemperatur eindeutig die Eignung von Schleifscheiben zum Schleifen bestimmter Materialien ermitteln läßt. Je niedriger unter gleichen Schleifbedingungen und bei gleicher Spanabnahme die erzeugte Schleiftemperatur ist, um so ge-

eigneter ist die Scheibe. Die Scheibenabnutzung kann dabei unberücksichtigt bleiben, solange sie sich in tragbaren Grenzen hält, da sie in diesem Fall für die Wirtschaftlichkeit des Schleifens von untergeordneter Bedeutung ist. Die Auswahl der Schleifscheiben nach dieser Methode schließt die bisherigen Fehlerquellen aus, da die Prüfung der Scheiben genau wie beim werkstattmäßigen Schleifen selbst erfolgt und weitestgehend von der Person des Prüfers unabhängig ist.

Die Eignung der Schleifscheibe läßt sich nicht in Beziehung zu einem der Festwerte setzen, sondern ist abhängig von dem Zusammenwirken aller Faktoren, welche die Eigenart der Scheibe bedingen.

Ebenso bietet die Schleiftemperatur die Möglichkeit, eine Schleifbarkeitsrangordnung der metallischen Werkstoffe aufzustellen, soweit sich die bei der Prüfung benutzte Scheibe im allgemeinen zu deren Bearbeitung eignet. Die beste Schleifbarkeit zeigt gehärteter Stahl. Bei nicht gehärteten Werkstoffen ist eine Beziehung zwischen den mechanischen Eigenschaften — Festigkeit, Härte, Dehnung — und der Schleifbarkeit nicht festzustellen. Ob und in welchem Umfang Beziehungen zwischen Schleifbarkeit und Bearbeitbarkeit bei den übrigen Zerspanungsvorgängen bestehen, muß erst durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

Je niedriger unter sonst gleichen Schleifbedingungen bei gleicher Spanabnahme die auftretende Schleiftemperatur ist, um so leichter läßt sich das Material bearbeiten.

Die erzielte Oberflächengüte ist unabhängig von dem geschliffenen Material und wird, gleiche Schleifbedingungen vorausgesetzt, bedingt durch den Charakter und die Eignung der Scheibe. Damit soll gesagt sein, daß hierbei die Schmaltz-Apparatur dieselben Höhendifferenzen ergibt.

Durch das in vorliegender Arbeit aufgezeigte Verfahren läßt sich mit wenigen, verhältnismäßig kurze Zeit in Anspruch nehmenden Versuchen die bestgeeignete Scheibe und das am leichtesten schleifbare Material ermitteln; beides sind Faktoren, die für die Wirtschaftlichkeit des Schleifens von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Literatur.

Bornemann, Diss., 1931, TH. Dresden. Prüfung und Beurteilung von Schleifscheiben auf Grund ihres Verhaltens bei verschiedenen Geschwindigkeiten.

Flemming, Diss., 1934, TH. Dresden. Beiträge zur Bestimmung der Oberflächengüte.

Gottwein, Mabau, 1925. Die Messung der Schneidentemperatur beim Abdrehen von Flußeisen.

— Mabau, 1926. Temperaturen der Meißelschneide beim Schruppdrehen von Metallen.

Guilleaume, Diss., 1927, TH. Berlin. Charakter und Eigenschaften keramischer Schleifmittelbindungen sowie Härteprüfung von Schleifscheiben.

Kleinschmidt, Schleif- und Poliertechnik, 1936.

Krug, Mabau, 1925. Beiträge zur Kenntnis des Schleifens. Z. d. VDI, 1927.

— Erhöhung des Gütegrades der Schleifscheibe durch erhöhte Drehzahl. Z. d. VDI, 1935.

— Fragen der Schleiftechnik.

Kurrein, Werkstattstechnik, 1928. Untersuchung der Schleifscheibenhärte.

Norton, Norton-Werkschrift „Schliff und Scheibe".

Pahlitzsch, Anzeiger für Maschinenwesen, 1938, H. 103. Forschung in der Schleiftechnik tut not.

Perthen, Werkstattstechnik, 1938. Die Bedeutung der Flächenprüfverfahren zur Bestimmung der Oberflächenrauhigkeit.

Pockrandt, Mitt. üb. Forschungsarbeiten, 1911, H. 105. Versuche zur Ermittlung der günstigsten Arbeitsweise der Rundschleifmaschine

Reichel, Mabau, 1936. Standzeitschnittgeschwindigkeits-Ermittlung von Werkzeugen und Bearbeitbarkeitsprüfung von Werkstoffen.

Sachsenberg, Mabau, 1938. Vergleichende Untersuchung von Oberflächenprüfgeräten.

Sahm, Werkstattstechnik, 1928. Einige Überlegungen über Vorgänge beim Rundschleifen.

Schallbroch, Z. d. VDI, 1933. Die Beurteilung der Zerspanbarkeit von Metallen.

Schicha, Diss., 1939, TH. Breslau. Zerspanbarkeitsprüfung verschiedener Metalle mit dem Zweistahlverfahren.

Schlesinger, Mitt. üb. Forschungsarbeiten, 1907, H. 42. Versuche über die Leistung von Schmirgel und Carborundumscheiben bei Wasserzuführung.

Schmaltz, Technische Oberflächenkunde, 1936.

Scheibe: I 100/120 G
Scheibengeschwindigkeit: 33 m/sec
Werkstückgeschwindigkeit: 12 m/min
Anpreßdruck: 1 kg.

Versuch Nr.	D_1 mm	D_2 mm	mV	Abnahme 1/100 mm
1	37,89	37,80	1,8	9
2	37,75	37,68	1,7	7
3	37,66	37,59	1,74	7
4	37,57	37,49	1,86	8
5	37,47	37,39	1,8	8
6	37,36	37,28	1,8	8
7	37,235	37,16	1,85	7,5
8	37,12	37,05	1,8	7
9	37,03	36,96	1,75	7

Anpreßdruck: 1,5 kg.

1	36,95	36,85	2,6	10
2	36,795	36,70	2,61	9,5
3	36,645	36,545	2,55	10
4	38,915	38,815	2,4	10
5	38,765	38,675	2,45	9
6	38,605	38,51	2,4	9,5

Anpreßdruck: 2 kg.

Versuch Nr.	D_1 mm	D_2 mm	mV	Abnahme 1/100 mm
1	38,26	38,135	3,28	12,5
2	38,055	37,92	3,78	13,5
3	37,875	37,755	3,6	12
4	37,715	37,59	3,5	12,5
5	37,58	37,455	3,51	12,5
6	37,44	37,29	3,8	15
7	37,26	37,15	3,45	11

Anpreßdruck: 2,5 kg.

1	36,69	36,54	4,0	15
2	38,84	38,69	3,84	15
3	38,65	38,51	3,91	14
4	38,45	38,31	3,7	14
5	38,29	38,15	3,8	14
6	37,98	37,845	4,0	14,5
7	37,815	37,67	4,2	14,5

Anpreßdruck: 3 kg.

Versuch Nr.	D_1 mm	D_2 mm	mV	Abnahme 1/100 mm
1	37,615	37,445	4,81	17
2	37,42	37,25	4,7	17
3	37,230	37,09	4,0	14
4	37,07	36,915	5,0	15,5
5	36,88	36,71	4,6	17
6	36,69	36,515	5,0	17,5
7	38,90	38,73	4,45	17

Anpreßdruck: 3,5 kg.

1	38,715	38,51	5,04	20,5
2	38,49	38,30	5,0	19
3	38,29	38,095	5,02	19,5
4	38,075	37,89	4,9	18,5

Scheibe: I 100/120 M
Scheibengeschwindigkeit: 33 m/sec
Werkstückgeschwindigkeit: 12 m/min
Anpreßdruck: 1 kg.

Versuch Nr.	D_1 mm	D_2 mm	mV	Abnahme 1/100 mm
1	37,745	37,69	1,91	5,5
2	37,66	37,60	1,88	6
3	37,57	37,515	1,71	5.5
4	37,475	37,42	1,95	5,5
5	37,38	37,32	1,96	6

Anpreßdruck: 2 kg.

1	37,06	36,965	3,4	9,5
2	36,96	36,85	3,07	11,0
3	36,83	36,71	3,26	12
4	36,70	36,60	3,3	10
5	38,85	38,755	3,1	9,5
6	38,745	38,64	3,21	10,5

Anpreßdruck: 3 kg.

Versuch Nr.	D_1 mm	D_2 mm	mV	Abnahme 1/100 mm
1	37,605	37,47	4,70	13,5
2	37,425	37,285	4,73	14
3	38,605	38,485	4,60	12
4	38,47	38,32	4,70	15
5	38,295	38,145	4,80	15

Anpreßdruck: 3,5 kg.

1	38,36	38,20	5,70	16
2	37,535	37,38	5,10	15,5
3	37,36	37,205	5,27	15,5
4	37,175	37,02	5,39	15,5

Anpreßdruck: 4 kg.

1	38,13	37,95	5,8	18
2	37,94	37,76	5,84	18
3	37,73	37,55	5,7	18

Scheibe: I 100/120 S
Scheibengeschwindigkeit: 33 U/sec
Werkstückgeschwindigkeit: 12 m/min
Anpreßdruck: 1,5 kg.

Versuch Nr.	D_1 mm	D_2 mm	mV	Abnahme 1/100 mm
1	37,845	37,775	2,45	7
2	37,74	37,67	2,4	7
3	37,65	37,585	2,35	6,5
4	37,555	37,475	2,5	7,5
5	37,45	37,375	2,52	7,5

Anpreßdruck: 2 kg.

1	36,84	36,755	2,9	8,5
2	36,72	36,63	3,0	9
3	38,995	38,92	2,96	7,5
4	38,875	38,775	3,0	10
5	38,74	38,63	3,01	11

Anpreßdruck: 3 kg.

Versuch Nr.	D_1 mm	D_2 mm	mV	Abnnahme 1/100 mm
1	38,62	38,51	5,2	11
2	38,48	38,355	4,27	12,5
3	38,33	38,205	4,34	12,5
4	38,18	38,05	4,3	13
5	38,045	37,91	4,28	13,5
6	37,885	37,755	4,62	13
7	37,745	37,62	4,2	12,5

Anpreßdruck: 3,5 kg.

1	38,935	38,805	4,55	13
2	38,75	38,61	4,9	14
3	38,595	38,45	4,85	14,5
4	38,20	38,07	4,3	13
5	38,05	37,92	4,76	13
6	37,91	37,77	4,88	14
7	37,60	37,45	4,8	15

Anpreßdruck: 4 kg.

1	37,425	37,26	5,19	16,5
2	37,24	37,08	5,28	16

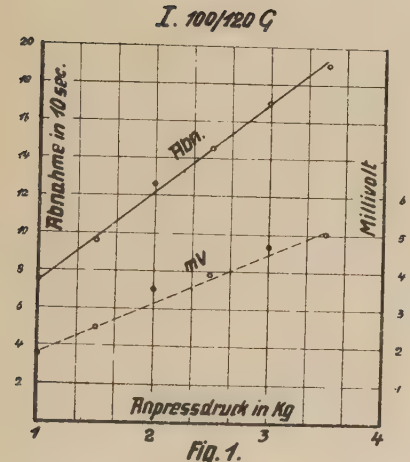


Fig. 1.

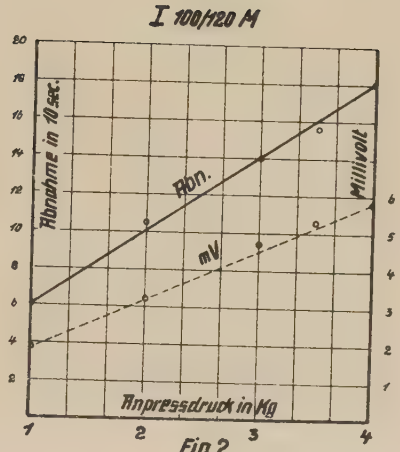


Fig. 2.

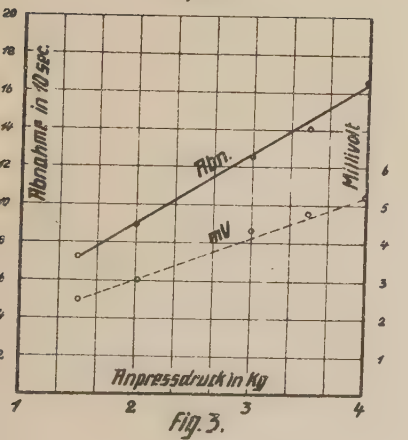


Fig. 3.

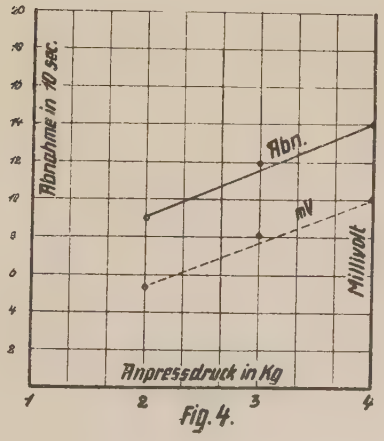


Fig. 4.

I 55 M

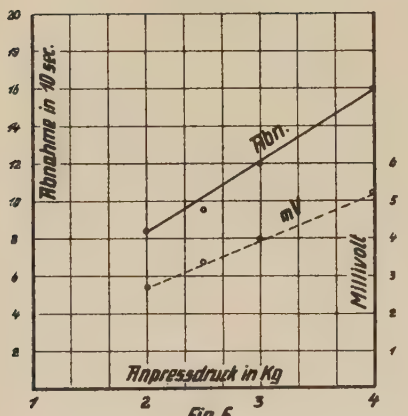


Fig. 5.

I 55 S

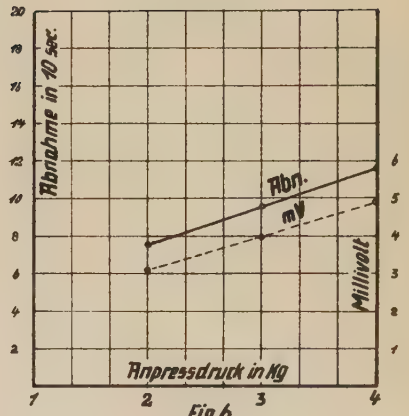


Fig. 6.

I 14/16 G

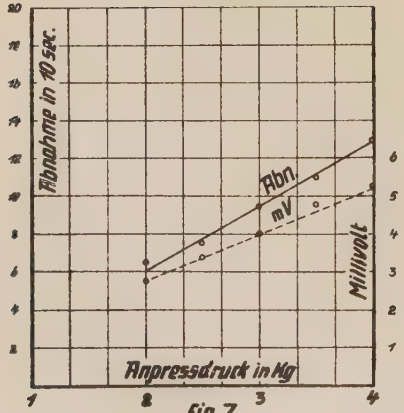


Fig. 7.

I 14/16 M

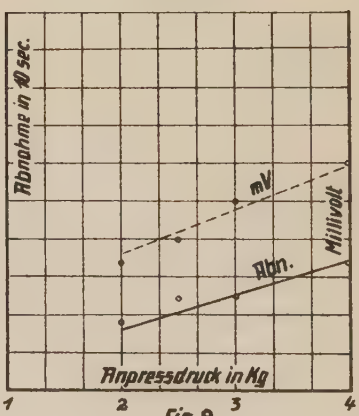


Fig. 8.

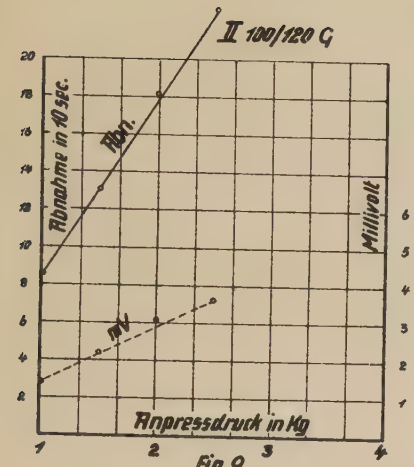


Fig. 9.

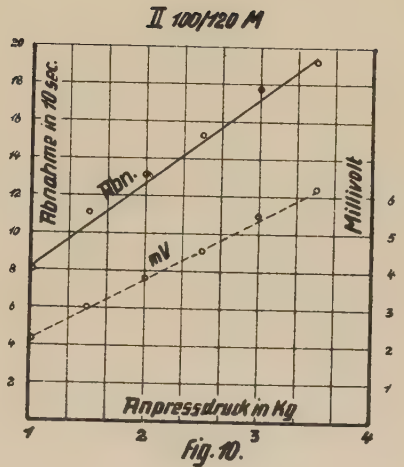


Fig. 10.

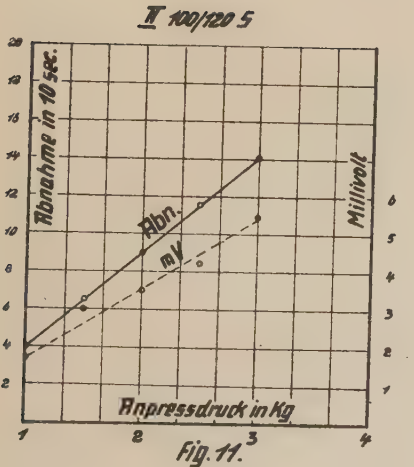


Fig. 11.

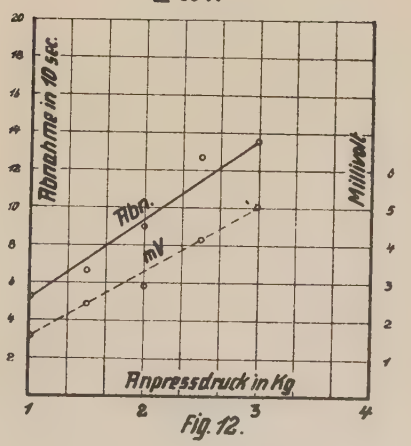


Fig. 12.

II 55 M

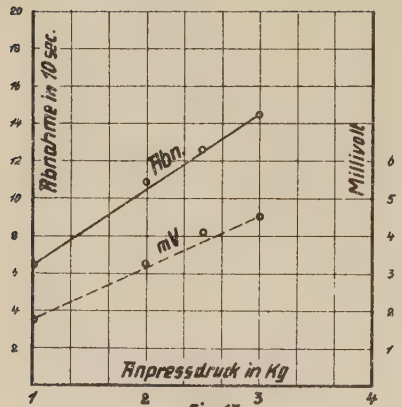


Fig. 13.

II 55 P

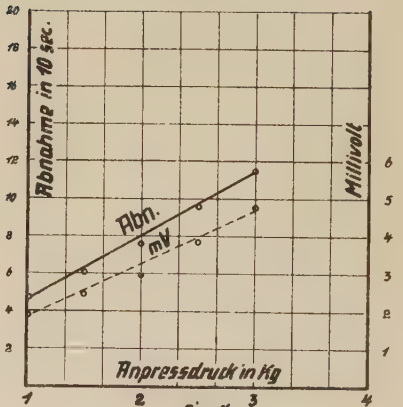


Fig. 14.

II 55 S

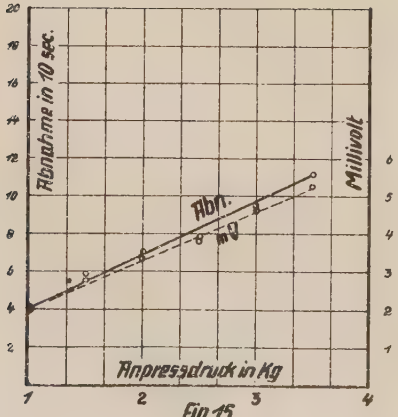


Fig. 15.

III 46 Jot

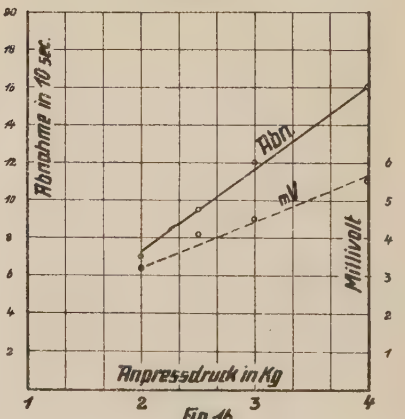


Fig. 16.

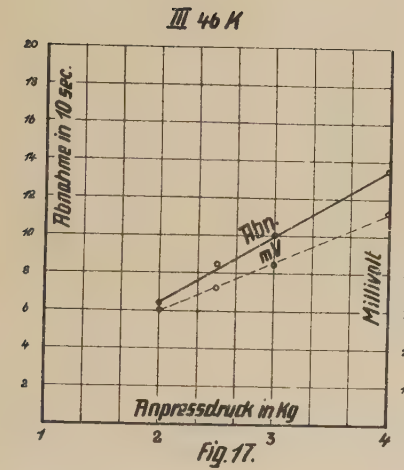


Fig. 17.

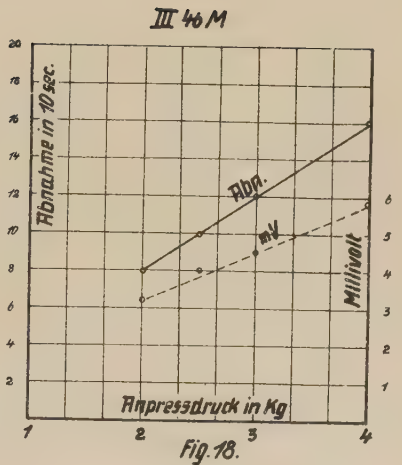


Fig. 18.

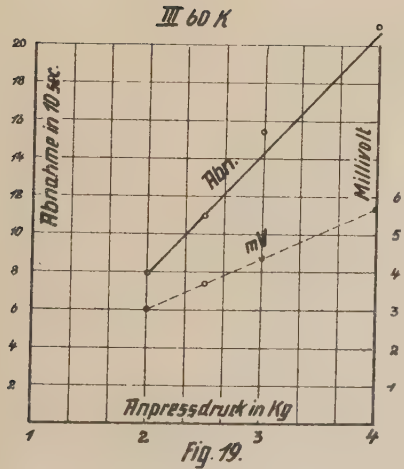


Fig. 19.

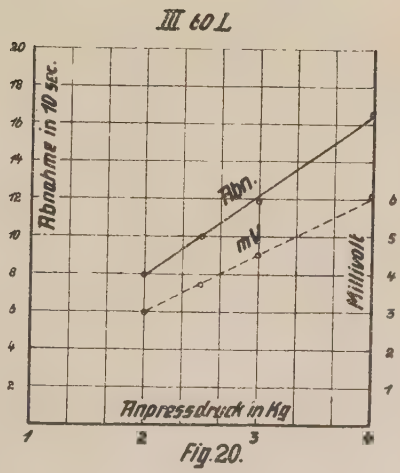


Fig. 20.

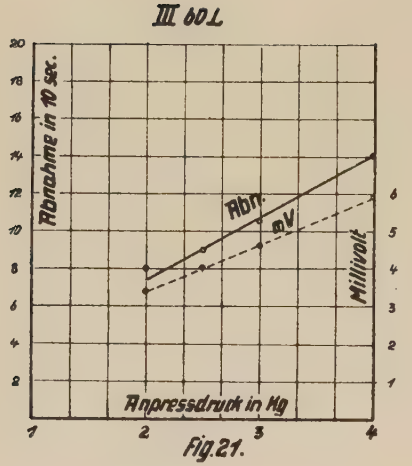


Fig.21.

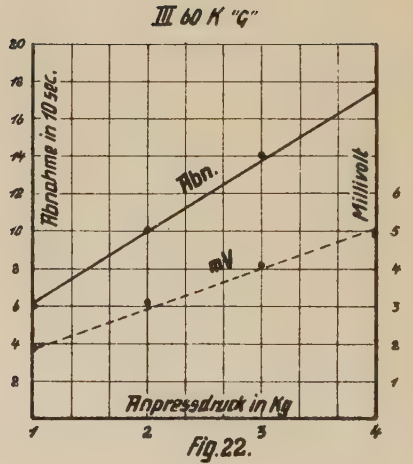


Fig.22.

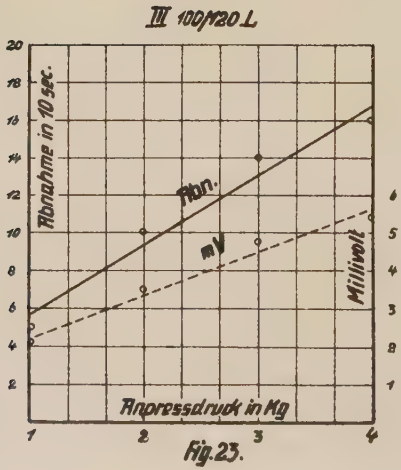


Fig.23.

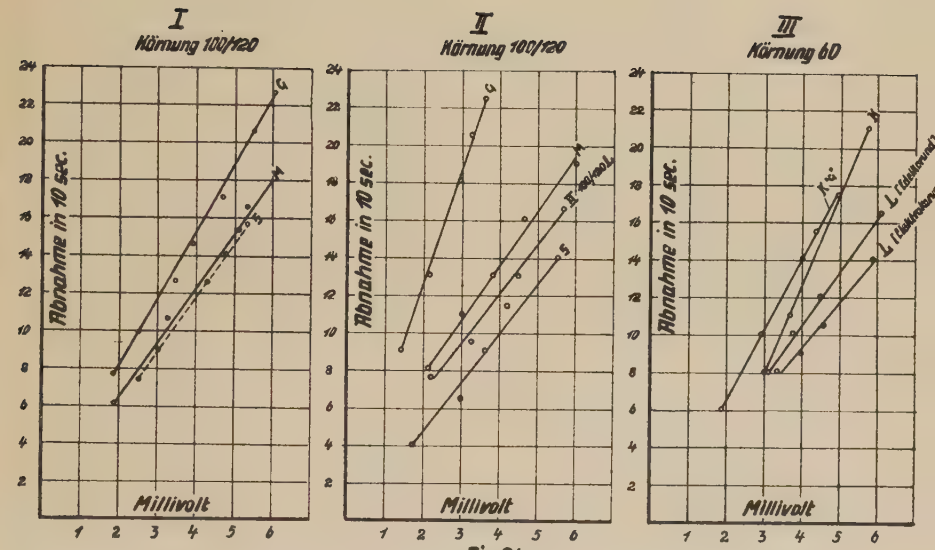

I
Körnung 100/120
II
Körnung 100/120
III
Körnung 60
Abnahme in 10 sec.
Millivolt
G
M
S
K
L (Glühfaden)

Fig. 24.

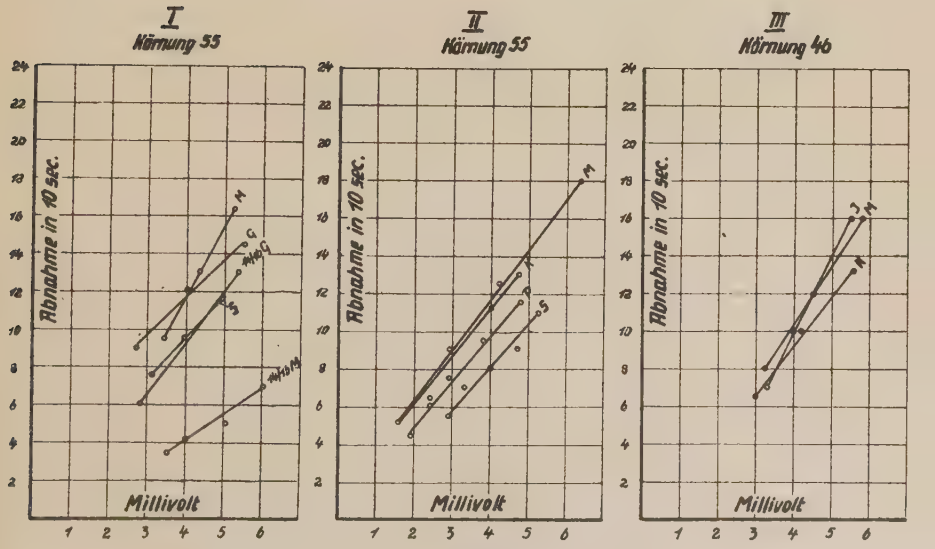
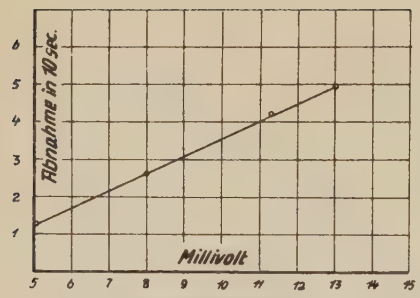
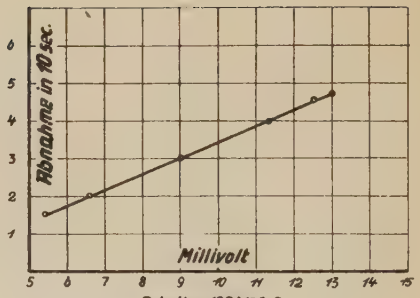

I
Körnung 55
II
Körnung 55
III
Körnung 46
Abnahme in 10 sec.
Millivolt
G
M
S
K
J

Fig. 25.



Scheibe 100/120 G
Werkst. GMR



Scheibe 100/120 G
Werkst. St 70.11.

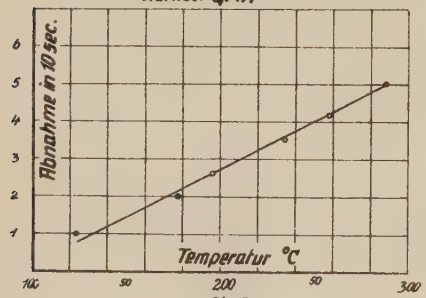


Fig. 26.

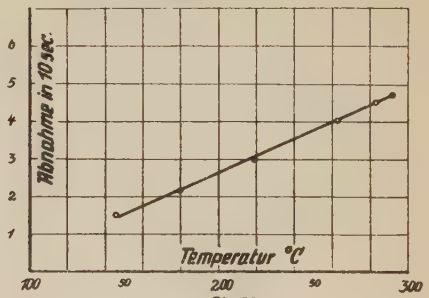
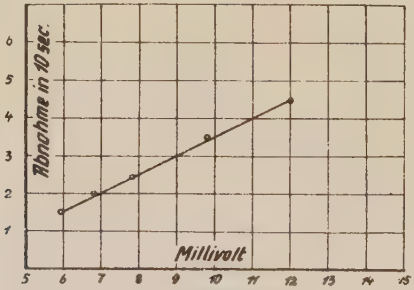


Fig. 27.



Scheibe 100/120 M
Werkst. GMR

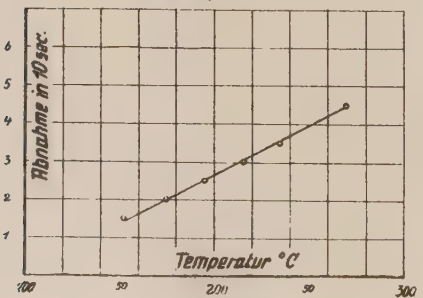


Fig. 28.

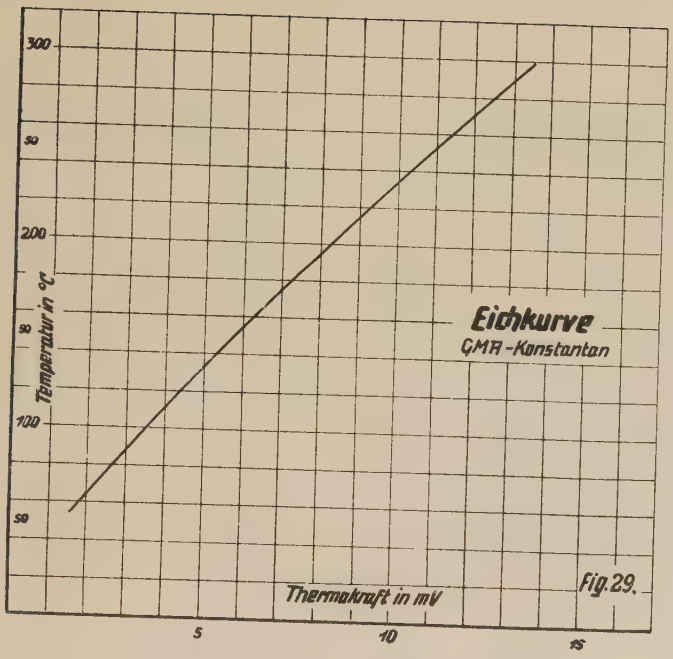

300
200
100
Temperatur in °C
Eichkurve
CMA-Konstantan
Thermokraft in mV
5
10
15

Fig. 29.

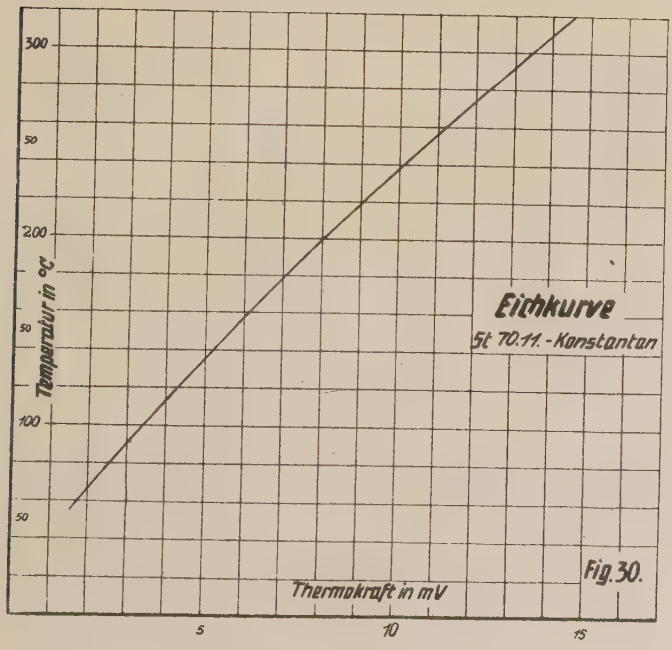

300
200
100
Temperatur in °C
Eichkurve
St 70.11.-Konstantan
Thermokraft in mV
5
10
15

Fig. 30.

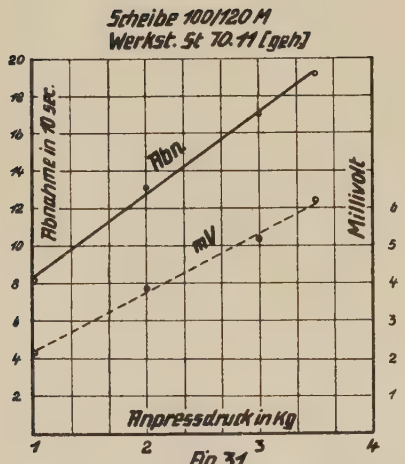


Fig. 31.

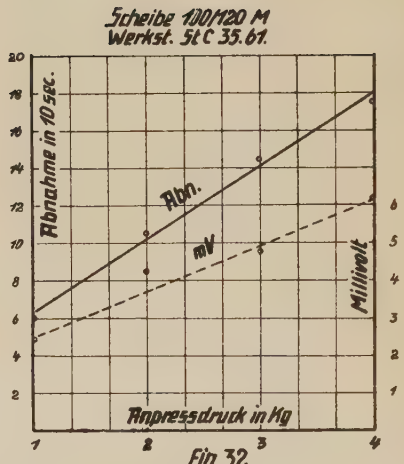


Fig. 32.

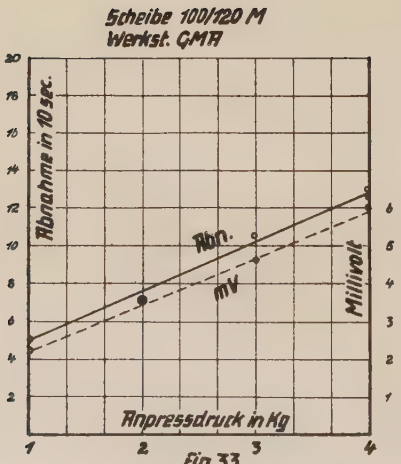


Fig. 33.

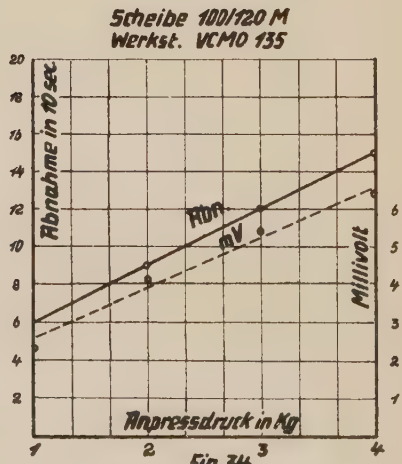


Fig. 34.

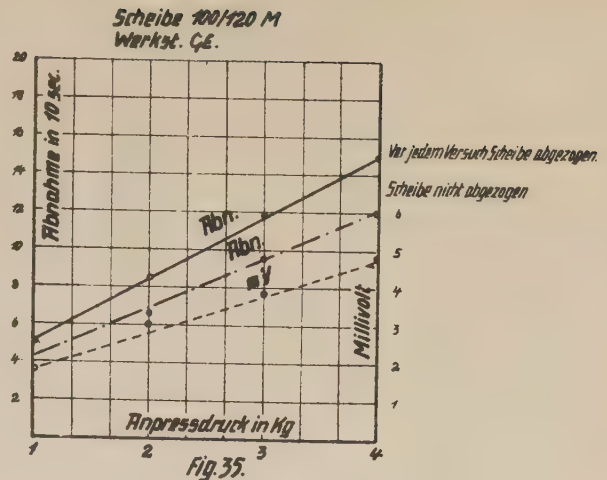

Scheibe 100/120 M
Werkst. Ge.
Abnahme in 10 sec.
Millivolt
Anpressdruck in Kg
Abn.
Abn.
y
Vor jedem Versuch Scheibe abgezogen.
Scheibe nicht abgezogen

Fig. 35.

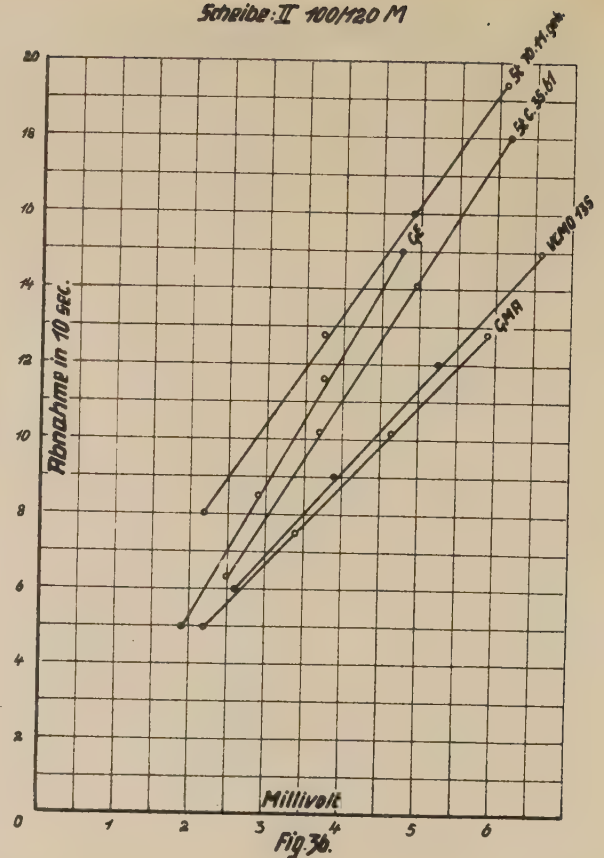

Scheibe: II 100/120 M
Abnahme in 10 sec.
Millivolt
Sk. 10.11 gek.
Sk. C. 35. 61
Ge
VCM 0 135
GMR

Fig. 36.

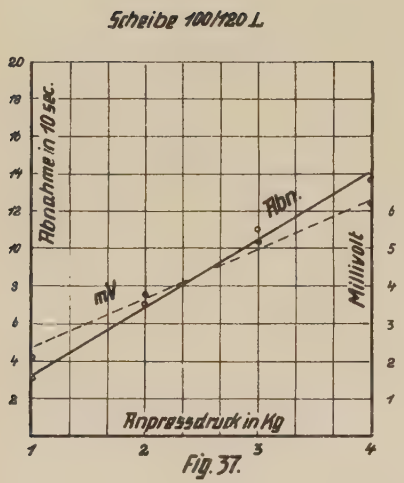


Fig. 37.

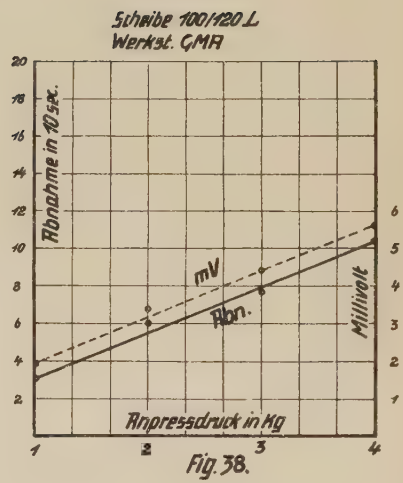


Fig. 38.

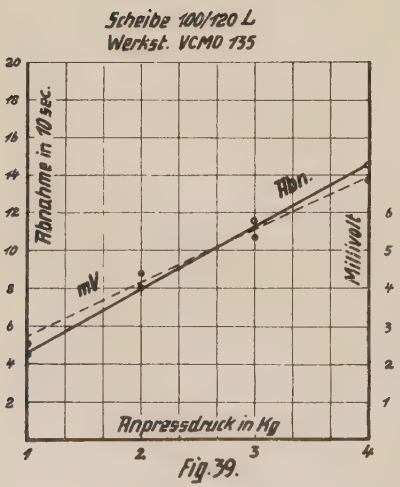


Fig. 39.

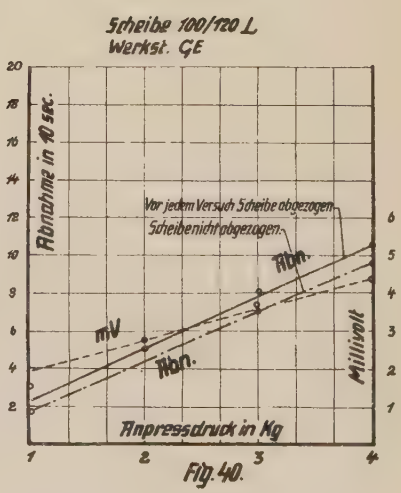


Fig. 40.

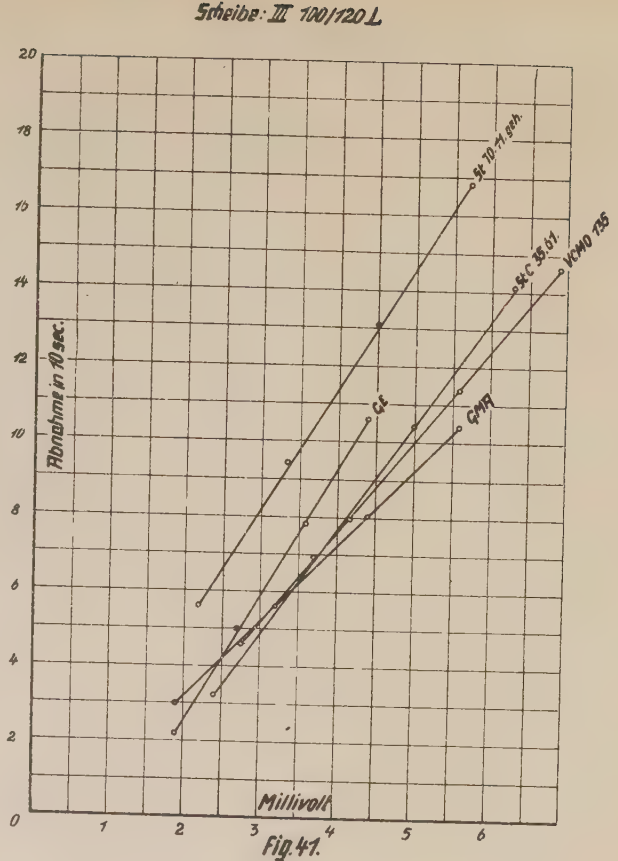


Fig. 41.

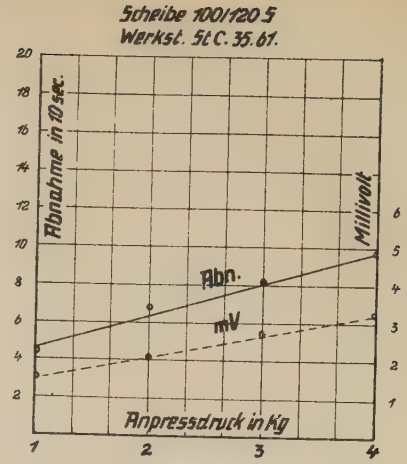


Fig. 42.

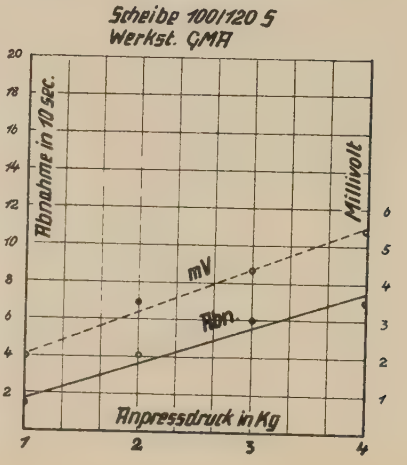


Fig. 43.

Scheibe 100/120 S
Werkst. VCM0 135

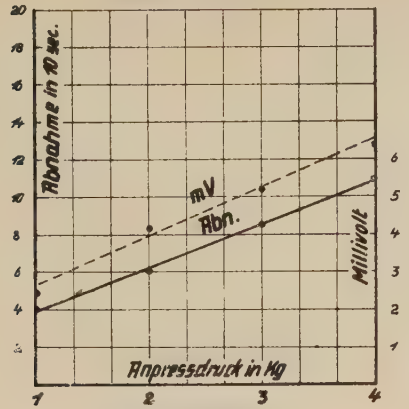


Fig. 44.

Scheibe 100/120 S
Werkst. GE

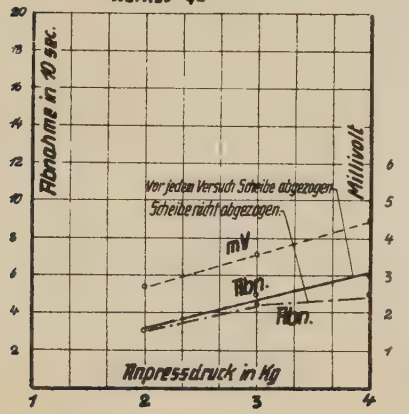


Fig. 45.

Scheibe: II 100/120 S

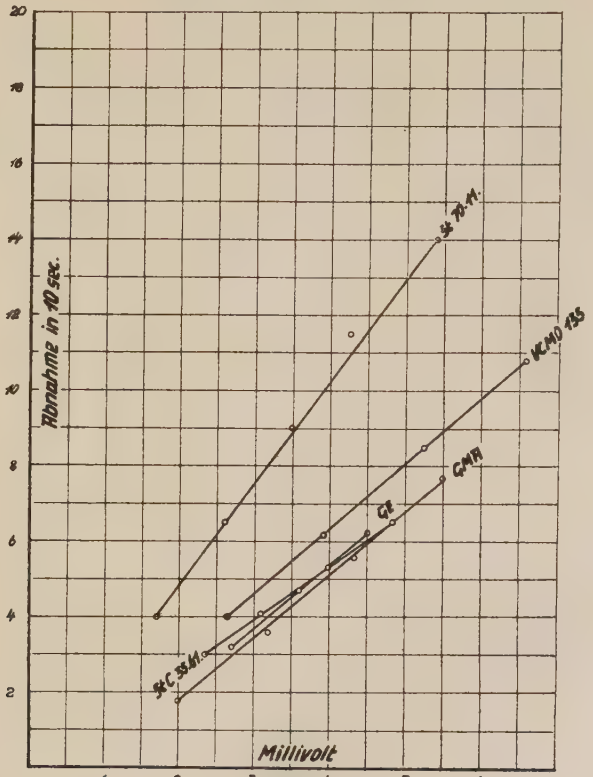


Fig. 46.

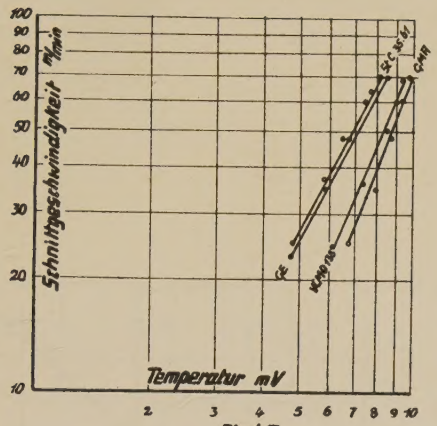

Schnittgeschwindigkeit m/min
Temperatur mV
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Fig. 47.

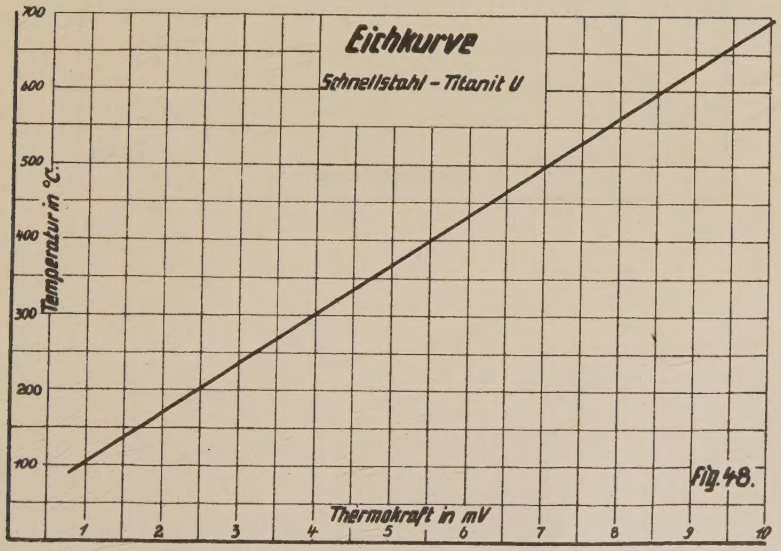

Eichkurve
Schnellstahl - Titanit U
Temperatur in °C
Thermokraft in mV
700
600
500
400
300
200
100
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Fig. 48.

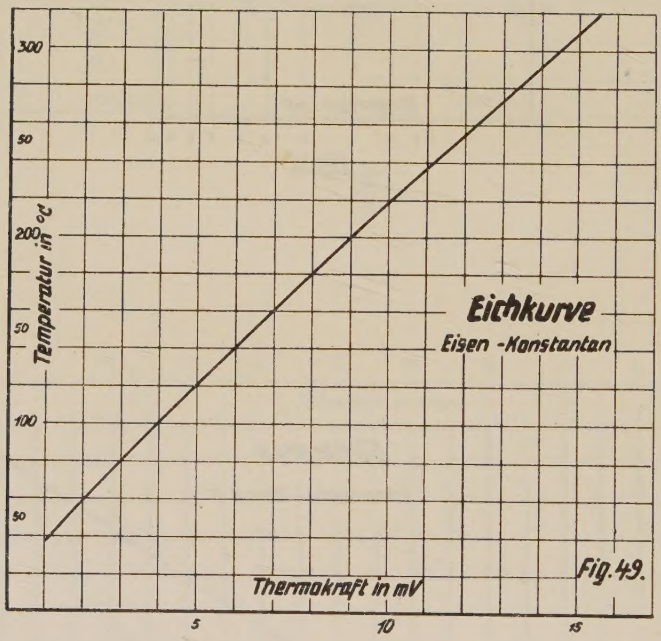

300
50
200
50
100
50
Temperatur in °C
Eichkurve
Eisen -Konstantan
Thermokraft in mV
5
10
15

Fig. 49.

Lebenslauf.

Geboren: 3. Dezember 1911, Dubeningken, Ostpreußen.

Schulbildung: 1918—1922 Volksschule Tollmingkehmen; 1922 bis 1932 Staatliche Friedrichsschule Gumbinnen.

Hochschulstudium: W.-S. 1933 — S.-S. 1937. Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Hochschule Breslau. Diplom-Hauptprüfung: Oktober 1937.

Praktische Tätigkeit: April 1932 — September 1933 Junkers-Werke Dessau.

Ingenieurtätigkeit: Ab 15. Oktober 1937 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Herstellungsverfahren der Technischen Hochschule Breslau.